CHIPWISSEN

Fred Wagenknecht

Experimentelle 2D- und 3D-Animation

Der PC in Grafik, Werbung und Design

VOGEL-BUCHVERLAG
WÜRZBURG

FRED WAGENKNECHT

Geboren 1929 in Berlin. Studium an der Meisterschule für das Kunsthandwerk Berlin, Fachrichtung Grafik und Trickfilm. Von 1955 bis 1978 freischaffender Künstler im Bereich des Fernsehens und des Werbefilms. Im eigenen Trickfilmatelier wurden Aufgaben im wissenschaftlichen Film und Titelvorhaben für die Filmindustrie realisiert.

Seit 1977 Dozent für Animationsfilm an der Staatlichen Fachschule für Optik und Fototechnik Berlin. Seit 1978 Lehrbeauftragter an der Hochschule der Künste Berlin.

1980 erste Begegnungen mit Mikrocomputern. Danach systematische Untersuchungen über den Einsatz von Computern im Animationsbereich; seit 1982 auch im Lehrbereich Computergrafik tätig. Besonderes Interesse bestand an der Schnittstelle Film–Computergrafik. Sonderauszeichnung für eine filmische Arbeit mit computergrafischen Elementen 1982.

Diskettenangebot

Die Standardprogramme dieses Buches sind auf Disketten für Schneider CPC 464 beim Autor erhältlich. Alle Programme sind listbar und auch als Kassettenversionen erhältlich. (Je DM 40,– portofrei. Bitte Format angeben!)
Bestellungen an:
F. Wagenknecht, Grafik-Software, Ilsestraße 1, 1000 Berlin 44
Postgiroamt Berlin West Nr. 134088/101. Nur gegen Vorauskasse.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Wagenknecht, Fred:
[Experimentelle Zwei-D- und Drei-D-Animation]
Experimentelle 2D- und 3D-Animation : d. PC in Grafik, Werbung u. Design / Fred Wagenknecht. – 1. Aufl. – Würzburg : Vogel, 1986. (Chip-Wissen)
ISBN 3-8023-0877-8

ISBN 3-8023-0877-8
1. Auflage. 1986
Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.
Printed in Germany
Copyright 1986 by Vogel-Buchverlag Würzburg
Herstellung: Alois Erdl KG, Trostberg

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 7

1 Einleitung 9
1.1 Das Übertragen der Programme auf andere Rechner 12
1.2 Der LINE-Befehl 17

2 Entwerfen 21
2.1 Entwurf, Konstruktionszeichnung von Objekten 21
2.2 Objekte aus Daten 30
2.3 Drahtmodelle 33
2.4 Komplexe Modelle, Detaildispositionen 34

3 Programmierung 39
3.1 Programmierung von Shapes 39
3.2 Funktionsflächen 50
3.3 3D-Grafik 58
3.4 Eckpunktarray, Linienarray 61
3.5 Programmstruktur und Animation 66
3.6 3D-Standardprogramm 71
3.7 3D-Rotationskörper 73
3.8 Kugeldarstellung 81
3.9 Kugelprogramm 82
3.10 Grafik auf der Kugel 86

4 Animation 97
4.1 Animation allgemein 97
4.2 Standardoperationen der Animationstechnik 101
4.3 Iterative Schleifen 103

5 Programmbeispiele ... 107
5.1 2D-Programme, Shapes, Rotationen ... 112
5.2 2D-Guillochenmuster ... 116
5.3 Funktionsflächen mit DATA-Ergänzung ... 120
5.4 Funktionsflächen in Bewegung ... 125
5.5 3D-Standardprogramm – 3D-Kasten ... 128
5.6 3D-Objekt in Bewegung – Doppeldecker ... 133
5.7 3D-Objekt in Bewegung – ME 109 ... 138
5.8 3D-Objekt in Bewegung – Raumgleiter ... 141
5.9 3D-Objekt in Bewegung – Schriftzug ... 146
5.10 3D-Objekt in Bewegung – Luftschiff ... 150
5.11 3D-Objekt in Bewegung – Winkelwürfel ... 156
5.12 Laufbewegung Robotermodell ... 160
5.13 3D-Roboterlaufbewegung ... 164

6 Aufzeichnen und Drucken ... 173
6.1 Ausdrucken von Einzelphasen ... 173
6.2 Filmaufzeichnung von Einzelphasen ... 175
6.3 Super-8-Aufzeichnungen ... 177

Literaturverzeichnis ... 179

Stichwortverzeichnis ... 180

Vorwort

Auf dem Gebiet des Darstellens und Entwerfens liefern Mikrocomputer heute schon wesentliche Beiträge zum Grafikdesign. Hierfür sind die zahlreichen CAD-Programme ein deutlicher Hinweis. Mit ihnen können auch professionelle Aufgaben gelöst werden.

Die Bildausgabe in Form von Prints oder Videobildern setzt neue Verfahrenstechniken neben bewährte grafische Techniken. Die heutigen Rechner können jedoch keinesfalls alle Designaufgaben bewältigen, weil sich handwerkliche Techniken aufgrund ihrer komplexen Arbeitsgänge nicht ohne weiteres in einem Rechenvorgang simulieren lassen. Daher werden viele Bereiche grafischer Techniken auch weiterhin in ihrer tradierten Form erhalten bleiben.

Allerdings macht sich eine Verlagerung vieler Designaufgaben in den Rechnerbereich deutlich bemerkbar. Insbesondere für die Entwurfsphase oder beim Durchspielen von Permutationen von Formgebilden können Rechner herangezogen werden, und zwar – wie sich gezeigt hat – mit geradezu hervorragenden Ergebnissen.

Für den Designer ist es nicht einfach, geeignete Software für seine Problemstellung zu finden. Noch schwieriger wird es, wenn es sich um Animationsaufgaben handelt. Hier ist der

Markt sehr dürftig oder um mehrere Preis-Größenordnungen höher angesiedelt, als für den Designer vertretbar ist.

Als Ausweg bietet sich also nur die Programmierung eigener Software an. Das setzt allerdings ein breites Grundlagenwissen voraus. Der Erwerb eines solchen Wissens kann jedoch ein langwieriger Prozeß sein – je nachdem, welche Informationsquellen zur Verfügung stehen. Das Buch will helfen, diesen Weg abzukürzen, und grafische Techniken übersichtlich präsentieren.

Mit einer Anzahl von Standardoperationen der Computergrafik kann der Leser eigene Versuche machen. Hierbei lernt er mühelos die wichtigsten Algorithmen kennen. Das Buch ist im weitesten Sinne eine Anleitung für spannendes, schöpferisches Experimentieren mit konkreten Aufgaben. Daß es beruflich ebenso sinnvoll ist, wurde bewußt angestrebt.

Der Weg zu neuen Erkenntnissen führt über das Experiment; in diesem Sinne soll das Buch ein zuverlässiger Führer sein.

Berlin Fred Wagenknecht

1 Einleitung

Dieses Buch beschreibt Methoden der Computergrafik, die zu den aufregendsten Kapiteln des darstellenden Designs gehören. Nie zuvor gab es für den Zeichner ähnlich gute Hilfsmittel, um komplizierte Darstellungen in einfacher Weise zu ermöglichen. In diesem Buch sind Beispiele gewählt worden, die diesen Sachverhalt deutlich machen.

Vor langer Zeit, bevor es Personal-Computer gab, reizte mich die Aufgabe, einen Zeichentrickfilm zu erstellen, in dem ein Doppeldeckerflugzeug das Hauptrequisit sein sollte. Während der Arbeit verzweifelte ich an den zahlreichen perspektivischen Ansichten, die dieses Flugzeug unter den mannigfachen Flugphasen annehmen konnte. Überschneidungen, Verzeichnungen, Vergrößerungen, Achsenbewegungen und zahlreiche andere Komponenten machten das Objekt von Zeichnung zu Zeichnung heimtückischer. Nach wochenlangen Versuchen stand ich immer noch am Anfang einer wahren Sisyphusarbeit, deren Ende unabsehbar war. So entschloß ich mich widerwillig, das Projekt aufzugeben.

Vor einiger Zeit habe ich mir einen Doppeldecker programmiert und genußvoll zugesehen, wie das Programm einen perfekten Looping realisierte oder das Flugzeug sich aus einem Punkt zum Detail vergrößerte. Dieses Programm hatte ich an

einem Tag geschrieben und eingegeben. Und am folgenden Tag konnte ich mir massenweise Flugphasen ausdrucken lassen, die einer filmischen Weiterverarbeitung harren.

Viele Designer werden mit ähnlichen Problemen kämpfen. Hier will das Buch helfen, den richtigen Einstieg zu finden, ohne auf Programmierkunststücke zurückgreifen zu müssen.

Fast alle Designaufgaben basieren auf konstruktiven Grundlagen, sei es in Kunst, Architektur oder in der Technik.

Perspektivische Ansichten waren von jeher Fleißarbeit. Die Schrägansicht einer Fensterfront zum Beispiel kann viele Stunden zeichnerischer Arbeit beinhalten. Heute genügt es, den Standpunkt des Betrachters festzulegen und die Drehwinkel in das Programm zu übergeben. Die Bildausgabe der gewünschten Ansicht ist für den Computer eine Kleinigkeit.

Damit entfallen die Randbedingungen, die dem Designer Sparsamkeit in der Wahl seiner Mittel diktieren. Verkürzungen eines Schriftzuges, also das perspektivische Verlaufen des Schriftzuges in den Raum hinein, verlangte die kontinuierliche Verkleinerung der Einzelbuchstaben und das gleichzeitige Verengen der Abstände zwischen den Buchstaben. Erschwert wurde die Aufgabe, wenn die Buchstaben viele Rundungen aufwiesen. Bis heute werden solche Aufgaben über optisch-fotografische Arbeitsschritte bewältigt, wobei einiger Aufwand entsteht. Die Computergrafik bewältigt solche Aufgaben mühelos.

Die Schrägansicht eines Gewindes kann selbst einen Topdesigner in die Verzweiflung treiben. Ich erinnere mich mit Schrecken an eine Aufgabe aus meiner Studienzeit, eine Zündkerze in allen grafischen Techniken darzustellen. Das Gewinde war und blieb das Problem.

Wieviel stupide Zeichenarbeit kann uns der Rechner heute ersparen. Fast jeder Bereich profitiert davon. Auf Großrechenanlagen laufen heute schon viele Designaufgaben ab.

Aber auch der Personal-Computer wird dieser Aufgabenstellung gerecht, wenn er über hochauflösende Grafik und einen

Befehl zum Linienzeichnen verfügt. Die Bildausgabe ist allerdings durch die BASIC-Sprache verlangsamt, was jedoch in den meisten Fällen nicht weiter störend ist. Selbst Profis, die Animationssequenzen für Werbespots oder Science-fiction-Filme herstellen, haben mit beachtlichen Bildaufbauzeiten für ein Einzelbild zu rechnen, weil sehr viele Informationen verarbeitet werden müssen.

Bildaufbauzeiten von fünf bis zu fünfzehn Minuten sind die Norm.

Der Personal-Computer generiert Drahtmodellgrafik ohne Hidden-line-Routine wesentlich schneller. Zeiten zwischen ein paar Sekunden und einer Minute sind realistische Werte. Diese sind für die meisten Anwender akzeptabel. Rechnet man den geringen Preis der Maschinen hinzu, kommt man zu wirtschaftlich vertretbaren Größenordnungen für ein kleines CAD-System.

Echtzeitforderungen können nur über die filmische Adaptation einigermaßen preiswert realisiert werden. Auch hierfür sind einige Gedanken in diesem Buch zu finden.

Das in diesem Buch verwendete Hauptprogramm muß vom Anwender nicht unbedingt in all seinen Funktionen verstanden werden. Er kann es als Hilfsprogramm benutzen, ohne sich mit der Befehlsstruktur auseinandersetzen zu müssen. Die Dateneingabe und die Einstellung der Ausgabeparameter sind die einzigen Routinen, die der Anwender beherrschen muß.

Computersimulation heißt ein neuer Begriff, der Unmögliches Wirklichkeit werden läßt. Schwebende Objekte, endlose Fahrten, gleitende Verwandlungen, korrekter Schattenwurf, imaginäre Lichtquellen und nie zuvor gesehene Oberflächenstrukturen – all das ist heute schon technischer Standard. Nur wenige haben Einblick in die Programmierung solcher Vorgänge. Es ist ein wohlgehüteter Spezialistenjob.

Die Möglichkeit zur Darstellung lebender und fiktiver Wesen wird die herkömmlichen Sehgewohnheiten des Film- und Fern-

sehzuschauers entscheidend verändern. Nicht mehr das gewohnte Erscheinungsbild des menschlichen Umfeldes wird das Aktionsfeld für das zukünftige Traumkino sein, sondern die synthetisierte Bildwelt einer nichtexistenten Pseudorealität. Die Abenteuer in diesen Bildräumen müssen noch erdacht, die Künstler erst noch geprägt werden.

Alles jedoch beginnt mit dem Spiel. Nur aus dem Spiel werden schöpferische Kräfte freigesetzt, nur aus dem Spiel entstehen die Träume, die unsere Welt wieder lebenswerter machen könnten.

1.1 Das Übertragen der Programme auf andere Rechner

Alle Programme dieses Buches sind in Schneider-BASIC geschrieben, sie können jedoch auf fast allen Rechnern laufen, die über eine hochauflösende Grafik und entsprechende Linienbefehle verfügen. Da Schneider-BASIC sehr umfangreich ist, können bestimmte Befehle nicht direkt übernommen werden, oder sie fehlen auf anderen Rechnern gänzlich. In einigen Fällen lassen sich Hilfsroutinen schreiben, die die Übertragbarkeit der Programme gewährleisten.

Eine weitere Besonderheit des Schneider-BASIC ist eine Umrechnungsroutine für Winkelangaben. Man hat die Wahl zwischen Winkelangaben im Bogenmaß oder im Gradmaß (RAD für Bogenmaß, DEG für Gradmaß). Wird am Anfang einer Winkelberechnung DEG eingegeben, so können alle Winkelangaben in Gradmaß vorgenommen werden. Dieser komfortable Befehl ist leider bei den meisten Mikrocomputern nicht vorhanden. Sie rechnen fast ausschließlich in Bogenmaß, so daß bei den Programmen dieses Buches darauf zu achten ist, daß sie auf Bogenmaß umgestellt werden.

Aufgrund der Tatsache, daß der Umfang des Einheitskreises 2mal Pi ist, braucht man diesen nur noch in 360 Teile zu teilen, um den Winkel von 1 Grad zu erhalten. Die Umrechnungsformel lautet daher (gekürzt)

Winkel Alpha = Alpha * 3.14/180

Nunmehr können die Winkelangaben für den Winkel Alpha in Gradmaß vorgenommen werden.

Ein Beispielprogramm (Listing 1.1) macht den Sachverhalt deutlich. Hier wird ein Kreis unter Zuhilfenahme der vorgenannten Umrechnung gezeichnet. Unverständlicherweise fehlt im komfortablen Schneider-BASIC ein Befehl zum Kreisezeichnen. Daher müssen Kreise in der in diesem Listing aufgeführten Methode dargestellt werden. Darüber hinaus gibt es noch weitere Methoden zur Kreisdarstellung, die jedoch nicht so anschaulich sind wie das obenstehende Beispiel.

Der Schneider CPC464 hat abweichend von anderen Rechnern einen verschobenen Nullpunkt für den Grafikcursor; er befindet sich unten links im Bildschirm. Positive Werte zeigen daher nach oben (Y-Achse) und nach rechts (X-Achse), wie es auch im kartesischen Koordinatensystem gültig ist.

Im Gegensatz dazu schreiben andere Rechner positive Werte oben links im Bildschirm beginnend nach unten (Y-Achse). Für die Bildausgabe von Objekten, die in Schneider-BASIC definiert sind, hat das die Konsequenz, daß das Objekt kopfstehend abgebildet werden kann. Werden entgegengesetzte Vorzeichen zum Berechnen der Perspektive eingeführt, so läßt sich dieser Nachteil wieder kompensieren.

Beispiel für diese Kompensation aus dem 3D-Standardprogramm:

900 U = X4/Y4 * G	in	U = −X4/Y4 * G
910 V = Z4/Y4 * G	in	V = −Z4/Y4 * G

```
10  REM ----------------------------
12  :
14  REM VIELE RECHNER BEARBEITEN
15  REM WINKELFUNKTIONEN IM BOGEN-
16  REM MASS. CPC 464 HAT EINE GRAD-
17  REM MASSUMRECHNUNGSROUTINE EIN-
18  REM GEBAUT (DEG). FUER DIE ANDE-
19  REM RECHNER GILT DAS UMFORMUNGS-
20  REM BEISPIELPROGRAMM FUER EINE
30  REM          UMRECHNUNG
40  REM   BOGENMASS >>> GRADMASS
50  REM  ALPHA = WINKEL  GRADMASS
60  REM ----------------------------
70  :
78  REM FUER ALPHA SETZE:
80  REM ALPHA=ALPHA*3.14/180
90  REM FUER ALPHA KOENNEN NUN ANGA-
100 REM BEN IN GRAD VORGENOMMEN WER-
110 REM DEN! BEISPIEL: KREISPROGRAMM
120 :
130 CLS
140 REM ------ KREISPROGRAMM -------
150 :
160 :
170 FOR ALPHA=0 TO 360 STEP 3
180 x=150*SIN(ALPHA*3.14/180)+320
190 y=150*COS(ALPHA*3.14/180)+200
200 PLOT x,y
210 NEXT
```

Listing 1.1

Darüber hinaus läßt sich der Koordinatennullpunkt für die Grafikdarstellung an jeden geeigneten Ort innerhalb oder außerhalb des Bildschirms setzen mit der Anweisung ORIGIN X,Y. Das System wird somit vielfältigen Aufgabenstellungen gerecht, wie sie zum Beispiel bei Kurvenuntersuchungen auftauchen könnten.

In den Beispielprogrammen findet sich häufig die Anweisung

ORIGIN 320,200

Sie stellt den Mittelpunkt des Schneider-Bildschirms dar. Ist diese Anweisung wirksam, so zählen die Werte nach rechts positiv und nach links negativ, von der Mitte des Bildschirms aus betrachtet. Analog gilt das gleiche für die Y-Achse.

Schneider-BASIC CPC464

Initialisierung des Bildschirms:
Mode 0 = 20 Zeichen, 25 Zeilen 160 * 200 Pixel
Mode 1 = 40 Zeichen, 25 Zeilen 320 * 200 Pixel
Mode 2 = 80 Zeichen, 25 Zeilen 640 * 200 (400) Pixel

Cursorsteuerung:
Locate 1,1 = Cursor links oben
Locate X,Y = Cursor allgemein

Cursorsteuerung für hochauflösende Grafik:
Origin X,Y = Setzt den Ausgangspunkt des Cursors auf Grafik-Koordinaten. Häufigste Anwendung in Programmen: Origin 320,200 = Bildschirmmittelpunkt bei höchstauflösender Grafik
Tag = Umschalten vom Zeichencursor auf Grafikcursor
Tagoff = Rückschalten auf Zeichencursor.
Der Cursor für hochauflösende Grafik beginnt unten links am Bildschirm mit den Koordinaten 0,0.

Farbbefehle:
INK 0,n = Hintergrundfarbe, Farbe n (0 bis 26)
INK 1,n = Vordergrundfarbe Nr. 1, Farbe n wählbar (0 bis 26)
INK 2,n = Vordergrundfarbe Nr. 2, Farbe n wählbar (0 bis 26)
INK 3,n = Vordergrundfarbe Nr. 3, Farbe n wählbar (0 bis 26)
INK n,n = insgesamt 16 Farben aus 27 Farben wählbar (Mode 0)
PAPER n = Hintergrundfarbe, Farbe n (0 bis 26)
PEN n = Aufruf der definierten Vordergrundfarbe Nr. n.

Je nach Art der verwendeten Grafikauflösung reduziert sich die Farbpalette auf 16, 4 oder 2 Farben.

Grafikbefehle:
PLOT X,Y = Setzen eines Bildpunktes (Pixel)
DRAW X,Y = Zieht eine Linie vom gesetzten Punkt zur Koordinate
ORIGIN X,Y = Startpunkt des Grafikcursors
MOVE X,Y = verschiebt den Grafikcursor ohne Bildausgabe

Linienbefehle:
Schneider-BASIC verfügt über keinen eigentlichen Linienbefehl. Er wird durch die Anweisungen PLOT und DRAW gebildet. Eine Linie in Schneider-BASIC wird so geschrieben:

PLOT X,Y: DRAW X1,Y1

Ähnliche Linienbefehle gibt es auch in anderen Systemen, zum Beispiel beim Apple

HPLOT X,Y: HPLOT TO X1,Y1

oder beim Colour Genie

PLOT X,Y TO X1,Y1.

Die betreffenden Grafikbefehle entnimmt man dem Handbuch des entsprechenden Systems.

Für die korrekte Übertragung der Programme sei auf den folgenden Abschnitt «Der LINE-Befehl» verwiesen.

Grafikauflösung:
Die hochauflösende Grafik des Schneider CPC464 verfügt über 640 Pixel in der waagerechten und 200 (400) Pixel in der senkrechten Achse. Diese Auflösung ist für einen Computer dieser Preisklasse außergewöhnlich hoch. Eine Reduzierung der Auflösung auf die Hälfte, also 320 * 200 Bildpunkte, wie sie bei vielen PCs zu finden ist, stellt jedoch keinen Nachteil dar. Alle Grafikobjekte dieses Buches lassen sich auch in dieser Auflösung noch überzeugend darstellen.

Als Untergrenze für hochauflösende Grafik mag die des Colour Genie gelten. Sie verfügt über nur 160 * 96 Bildpunkte. Es wird in dieser Auflösung unmöglich, feinere Details der Objekte abzubilden. Die Funktion der Programme ist jedoch auch bei niedriger Auflösung gewährleistet, wenn die Bildschirmgrenzen entsprechend beachtet werden.

Zusammenfassung

Jeder Rechner mit hochauflösender Grafik und einem entsprechenden LINE-Befehl kann die Programme dieses Buches verarbeiten, wenn die Grafikbefehle und Bildschirmgrenzen des betreffenden Systems beachtet werden.

1.2 LINE-Befehl

In den vorliegenden Programmen hat der LINE-Befehl eine Schlüsselfunktion. In Schneider-BASIC wird er durch zwei Befehle dargestellt: Die Anfangskoordinaten des Startpunktes werden mit dem Befehl PLOT X,Y gesetzt. Die Endpunkte der Linien werden mit dem Befehl DRAW X,Y angesprochen.

Es handelt sich hierbei um eine Aufteilung des eigentlichen LINE-Befehls in zwei gesonderte Anweisungen.

Wie schon erwähnt, lassen sich solche Anweisungen auf anderen Rechnern nicht immer in der gleichen Form nachvollziehen.

Das bloße Zusammenfassen der PLOT- und DRAW-Koordinaten zu einem LINE-Befehl allein genügt nicht, um die Programme in Funktion zu setzen.

Verfügt ein Rechner über einen echten LINE-Befehl, müssen die entsprechenden PLOT- und DRAW-Koordinaten in den LINE-Befehl übernommen werden. Gleichzeitig muß jedoch eine strukturelle Veränderung des Programms stattfinden.

Zum Vergleich sollen zwei Routinen gegenübergestellt werden. Die erste gilt für den CPC464, die zweite für einen Rechner mit einem echten LINE-Befehl oder einer vergleichbaren Routine (PLOT TO TO TO usw.).

Die Umrechnung der Eckpunkte und die anschließende Linienausgabe geschehen in folgender Weise:

```
100 READ X,Y,Z:GOSUB 500:PLOT BX,BY
110 FOR I=2 TO 9:READ X,Y,Z:GOSUB 500
120 DRAW BX,BY:NEXT I
```

Zeile 100:
Der READ-Befehl liest den ersten Eckpunkt (X,Y,Z). Durch GOSUB 500 werden die Werte in Zeile 500, der Rotationsmatrix, umgerechnet. Danach erscheinen sie als Bildschirmkoordinaten BX,BY wieder im Programmablauf und werden durch PLOT BX,BY auf den Bildschirm gesetzt.

Zeile 110:
In einer READ-Schleife werden die folgenden Eckpunkte, in diesem Fall von 2 bis 9, gelesen und nach erfolgter Umrechnung mit DRAW BX,BY zu Linien verbunden (Zeile 120).

Bemerkenswert an dieser Darstellungsweise ist die Tatsache, daß die Bildschirmkoordinaten BX und BY sowohl im PLOT- als auch im DRAW-Befehl verwendet werden. Hieraus könnte der Schluß gezogen werden, daß es sich um gleiche Koordinaten

handeln könnte. Das ist jedoch nicht der Fall, da die Zeile 100 einen Vorgang abschließt, nämlich das Setzen des ersten Bildpunktes. Danach wird ein weiterer Vorgang, das Linienziehen, eingeleitet. In diesem Fall können wieder die gleichen Variablen BX und BY verwendet werden.

Das zweite Beispiel soll den LINE-Befehl ausführen. Beachten Sie die veränderte Ausgangssituation:

```
100 READ X,Y,Z: GOSUB 500: P1=BX:P2=BY
110 FOR I=2 TO 9:READ X,Y,Z:GOSUB 500
120 P3=BX:P4=BY
130 LINE P1,P2,P3,P4
140 NEXT I
150 P1=P3:P2=P4
```

Zeile 100:
Der erste Eckpunkt wird gelesen und umgerechnet. Die Bildschirmkoordinaten BX und BY werden jedoch nicht auf den Bildschirm gesetzt, sondern in den Hilfsvariablen P1 und P2 abgelegt.

Zeile 110:
Die READ-Schleife liest die nächsten Eckpunkte.

Zeile 120:
wie im ersten Fall rechnet sie um und speichert die umgerechneten Eckpunkte ebenfalls unter Hilfsvariablen, P3 und P4.

Zeile 130:
Ausführen des LINE-Befehls unter Heranziehung der Hilfsvariablen P1, P2, P3, P4.

Zeile 150:
Rücksetzen der Hilfsvariablen. Hierdurch wird das Weiterziehen

von Linien an der letzten Position der ausgegebenen Linie verhindert.

Beachtet man die vorgenannten Gegebenheiten, ist die Anpassung an jeden BASIC-Dialekt möglich.

2 Entwerfen

2.1 Entwurf, Konstruktionszeichnung von Objekten

Jedes Objekt, das in den folgenden Programmen verarbeitet werden soll, muß eindeutig in seinen Koordinaten bestimmt werden.

Hierdurch ist die Eingabe von Daten in das Programm überhaupt erst möglich. Im Programm selbst werden die speziellen Daten des betreffenden Objekts verarbeitet und mittels der Rechnerroutinen in eine perspektivische Ansicht umgesetzt. Die Größe des Objekts beim Entwurf ist dabei nicht von ausschlaggebender Bedeutung, weil das Programm Vergrößerungen oder Verkleinerungen jederzeit im Programmablauf zuläßt.

Der Entwurf eines Objekts sollte einer technischen Konstruktionszeichnung nahekommen. Die Längen der Strecken und die Lage der Eckpunkte müssen eindeutig ablesbar sein, so daß zweckmäßigerweise gerastertes Papier Verwendung finden sollte. Das kann Millimeterpapier oder kariertes Papier sein, wobei man für erste Übungen ohne weiteres auf kariertes Papier zurückgreifen kann (Bild 2.2).

Der Entwurf soll so angelegt sein, daß das Objekt mit den kürzesten Kantenlängen noch eindeutig beschreibbar ist. Das

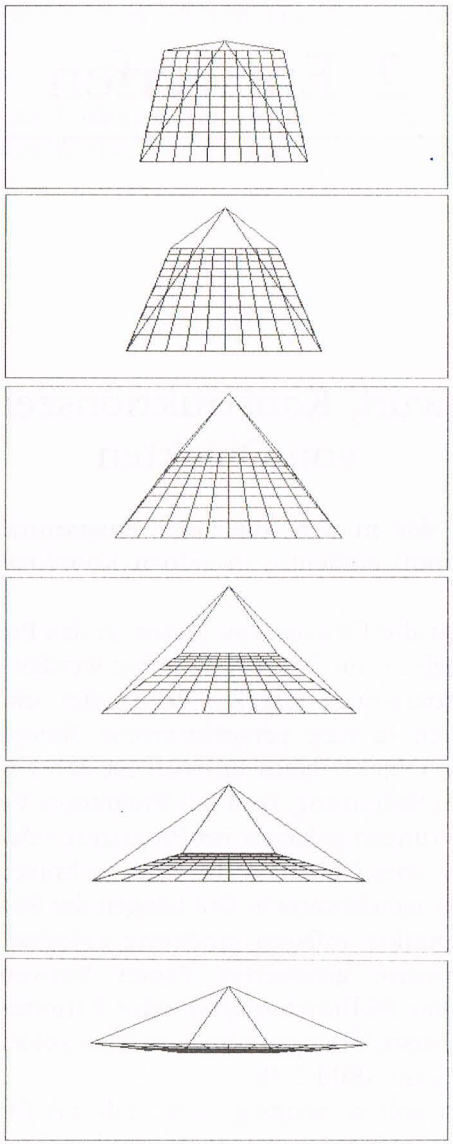


Bild 2.1 Räumliche Drehung einer Pyramide mit gitterartiger Grundfläche

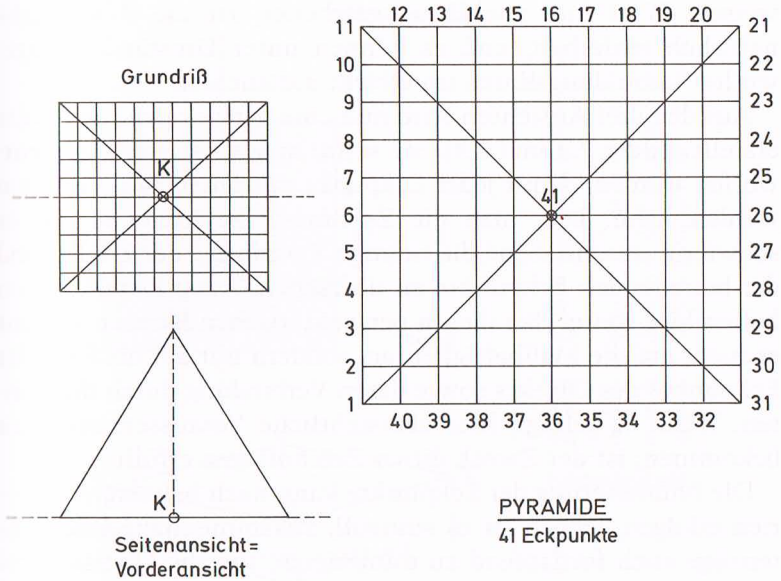


Bild 2.2 Konstruktionszeichnung der Pyramide mit 41 Eckpunkten

hat den Grund, die Datenwerte möglichst klein zu halten, um nicht drei- oder vierstellige DATA-Werte eingeben zu müssen. Warum sollte man einen Quader, der durch Kantenlängen von beispielsweise 3,4,5 eindeutig zu definieren ist, mit 30,40,50 einlesen? Das Ergebnis bleibt auf dem Bildschirm das gleiche, lediglich die Eingabe wird im letzten Fall aufwendiger. Dieses Prinzip hat jedoch nur bei einfachen Objekten Gültigkeit. Werden die Objekte feiner strukturiert, müssen naturgemäß mehr Eckpunkte und Linien zur Darstellung herangezogen werden, wodurch die Daten selbstverständlich größere Werte annehmen.

Es ist besonders auf die Übereinstimmung der Werte in den drei Ansichten zu achten. In Grundriß, Seitenansicht und Vorderansicht müssen gleiche Eckpunkte auch gleiche Werte auf-

weisen. Wird hier nachlässig gearbeitet, ist die Bildausgabe natürlich fehlerhaft, und es können unter Umständen ungewollte Verbindungslinien im Objekt auftauchen.

Aus den drei Ansichten wird nun eine perspektivische Skizze erstellt (Bilder 2.3 und 2.4). Sie sollte möglichst großzügig entworfen werden, damit jeder Eckpunkt mit einer Zahl versehen werden kann. Legt man die Zeichnung zu klein an, ist es schwierig, anschließend die richtige Zuordnung der Zahlen und der betreffenden Eckpunkte zu übersehen. Auch Detailskizzen helfen hier weiter. Bei diesen perspektivischen Skizzen kommt es nicht auf die Maßhaltigkeit an, sondern nur auf die Lage der Eckpunkte des Objekts sowie deren Verbindung durch die Kanten. Wenn es gelingt, hier übersichtliche Voraussetzungen zu bekommen, ist der Zweck dieser Zeichnungen erfüllt.

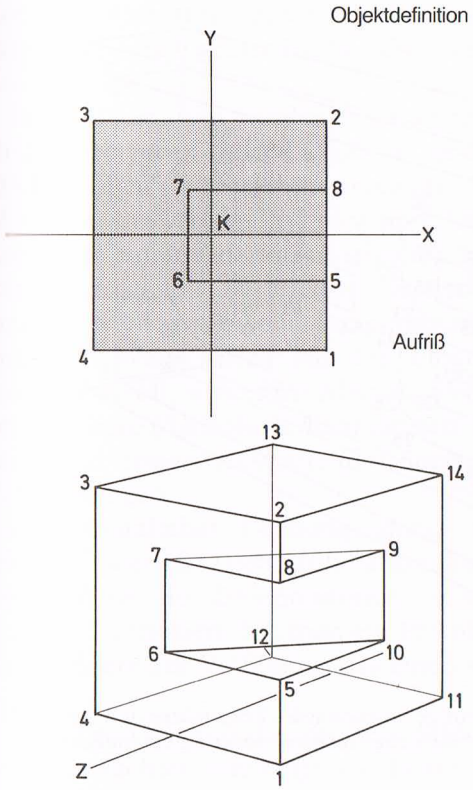
Die Numerierung der Eckpunkte kann nach beliebigen Kriterien erfolgen, jedoch ist es sinnvoll, zusammenhängende Kantenzüge auch fortlaufend zu numerieren, um die Übersicht zu behalten.

Nachdem alle Eckpunkte durchnumeriert sind, können deren Werte ermittelt werden. Jeder Eckpunkt wird drei Zahlenangaben enthalten:

X-Wert, Y-Wert, Z-Wert

Hierdurch kann jeder Punkt in der X-Y-Ebene und in seiner räumlichen Lage, dem Z-Wert, eindeutig bestimmt werden. In einem solchen Koordinatensystem muß ein Ausgangspunkt oder Nullpunkt vorhanden sein. Von diesem Punkt ausgehend werden die Ordinaten und Abszissen des Objektpunktes gemessen, in unserem Fall auch abgezählt, wenn gerastertes Entwurfspapier verwendet wurde.

Obwohl dieser Punkt ein Koordinatennullpunkt ist, wollen wir ihn als Konstruktionsmittelpunkt bezeichnen, weil wir das Koordinatensystem für einen ganz bestimmten Zweck anwen-



P	x	y	z
1	5	–5	5
2	5	5	5
3	–5	5	5
4	–5	–5	5
5	5	–2	5
6	–1	–2	5
7	–1	2	5
8	5	2	5
9	5	2	–1
10	5	–2	–1
11	5	–5	–5
12	–5	–5	–5
13	–5	5	–5
14	5	5	–5

Eckpunkttabelle

Bild 2.3 Perspektivische Darstellung eines Winkelwürfels mit Eckpunkteinzeichnungen. Die Eckpunkttabelle gibt Aufschluß über die Lage der Eckpunkte in der räumlichen Matrix.

den wollen und auf Allgemeingültigkeit keinen Wert zu legen haben.

Der Konstruktionsmittelpunkt ist im Objekt anschließend unsichtbar. Auf ihn beziehen sich lediglich unsere Koordinatenangaben der Eckpunkte.

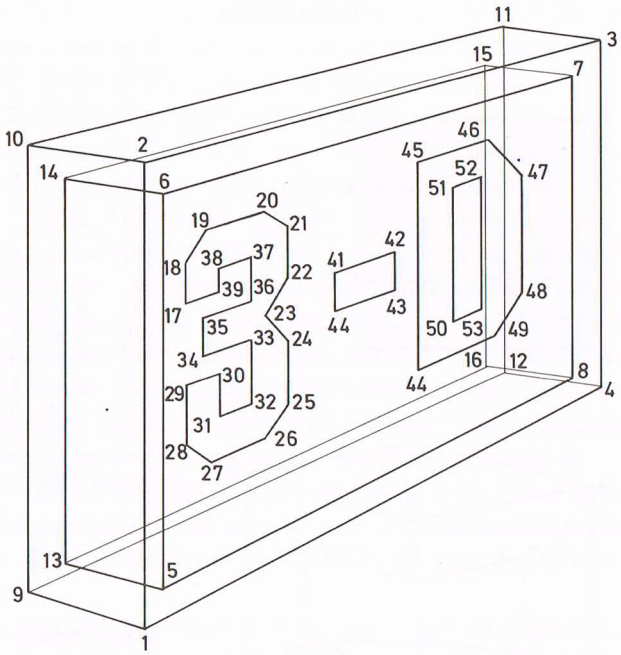


Bild 2.4 Wichtig ist die eindeutige Position jedes Eckpunktes in der perspektivischen Skizze. Auch die Linienzüge müssen eindeutig erkennbar sein.

Ihm kommt jedoch eine entscheidende Rolle für die Bildausgabe zu, denn um diesen Punkt kann das Objekt gedreht werden. Er kann beliebig gewählt werden und sogar außerhalb des Objekts liegen, wenn dies für die weitere Aufgabenstellung sinnvoll erscheint. Hierfür sind die beabsichtigten Animationsvorgänge in Betracht zu ziehen. Ein Propeller sollte immer um seinen Mittelpunkt rotieren, daher wird der Konstruktionsmittelpunkt auf der Propellerachse liegen müssen. Bei einer Tür könnte der Konstruktionsmittelpunkt in den Türangeln liegen, damit die Tür um diese Achse bewegt werden kann. Ein Satellit,

der einen Planeten umkreist, wird seinen Konstruktionsmittelpunkt außerhalb seiner Hülle haben, vielleicht im Mittelpunkt des Planeten.

In das Programm werden diese Daten in Form von DATA-Zeilen übergeben (Bild 2.5). X-, Y- und Z-Wert stehen in den DATA-Zeilen als Block hintereinander. Darauf folgt der nächste Block aus drei Werten und so weiter. Die DATA-Werte müssen nur strikt aufeinanderfolgen, also im Sinne unserer Eckpunktnumerierung. Die 3er-Blöcke müssen nicht durch Abstände getrennt werden, weil eine Programmanweisung für die richtige Folge der Werte sorgt. Für den Programmierer erscheint es jedoch sinnvoll, sich einen Abstand hinter jeden Datenblock zu setzen. Diese Maßnahme dient der schnellen Fehlersuche ungemein und erspart frustrierendes Suchen in unübersichtlichen Zahlenmengen.

Als zusätzliches Ordnungsprinzip hat sich bewährt, nur jeweils 5 oder 10 Datenblöcke unter einer Zeilennummer abzulegen. Wird die Zeilennummer noch in der Eckpunktliste (Tabelle 2.1) notiert, hat man ein Protokoll von übersichtlichen Datenfeldern zur Verfügung, das einen schnellen Zugriff sicherstellt.

Bildhafte Objekte, die auf dem Bildschirm erscheinen, sind streng betrachtet eine Folge von Daten. Auch in den vorliegenden Programmen tauchen häufiger solche Datensammlungen auf. Besonders in detailreichen Darstellungen, wie in den Programmen «Blimp», «Fokker» oder «Raumgleiter», stehen solche Datenfolgen in beeindruckender Vielzahl.

Der Rechner verarbeitet solche Datenfolgen ohne Schwierigkeiten. Für den Menschen hingegen stellen solche Datenfluten ein unanschauliches Gewirr von Zahlen dar, deren Herkunft meist nicht mehr durchschaubar ist.

Beim Umgang mit diesen Programmen können Fehler daher nicht ausbleiben. Um sie zu entdecken, sollte man sich gewis-

Zeilen-nummer	Ecke	X	Y	Z	Objekt
1030	1	5	−5	5	Würfel mit Ausfräsung
	2	5	5	5	
	3	−5	5	5	
	4	−5	−5	5	
	5	5	−2	5	
1040	6	−1	−2	5	
	7	−1	2	5	
	8	5	2	5	
	9	5	2	−1	
	10	5	−2	−1	
1050	11	5	−5	−5	Würfel mit Ausfräsung
	12	−5	−5	−5	
	13	−5	5	−5	
	14	5	5	−5	

BASIC-Programm:

```
1030  DATA 5,−5,5, 5,5,5, −5,5,5, −5,−5,5, 5,−2,5
1040  DATA −1,−2,5, −1,2,5, 5,2,5, 5,2,−1, 5,−2,−1
1050  DATA 5,−5,−5, −5,−5,−5, −5,5,−5, 5,5,−5
1060  REM 14 Eckpunkte
```

Bild 2.5 Auflistung der Würfeldaten in einer Tabelle und Umsetzung der Daten in ein BASIC-Programm

Zeile	Ecke	X	Y	Z	Objekt

Tabelle 2.1

sen Ordnungsprinzipien unterwerfen. Ist im Programm nur eine Linie falsch gezogen, so sind alle darauffolgenden Linienzüge ebenfalls unrichtig. Die Bildausgabe nimmt dann chaotischen Charakter an. Es ist hoffnungslos, in dem Datensatz herumzusuchen, es sei denn, man weiß, wo man suchen muß.

Aus diesen Gründen sei der Gebrauch der Eckpunkt- und Linienlisten empfohlen. Ihre Aufstellung gibt jederzeit Aufschluß über Zeilennummer, Eckpunktkoordinaten und die Bildausgabe am Objekt. Diese Methode hat sich bewährt und sollte nicht umgangen werden, auch wenn die Entdeckerfreude über die Vernunft siegen sollte.

Tabellen und Konstruktionszeichnungen legt man zweckmäßigerweise in einem Hefter ab, so daß sie für Korrekturen oder Veränderungen am Objekt schnell zu Hand sind. Es ist ferner sinnvoll, in die DATA-Zeilen auch REMs einzufügen, um zum Beispiel die Anzahl der Eckpunkte oder der Linienoperationen zu vermerken. Es sollte vermieden werden, die DATA-Zeilen allzu lang zu schreiben, da der Datensatz sonst leicht unübersichtlich wird. Die vorliegenden Programme sind nach diesen Regeln geschrieben und dienen als Beispiel für die Verfahrensweise.

2.2 Objekte aus Daten

Ein Problem läßt sich erleichtern, wenn man auf einfache Denkmodelle zurückgreift. Die Leistungsfähigkeit des 3D-Standardprogramms läßt sich auch durch einfache Objekte nachweisen. Dreieck, Rechteck und Vieleck sind keine nennenswerten Definitionsaufgaben, und die acht Ecken für einen Kubus sind ebenfalls schnell zu definieren.

Als Vorübung sollte jedoch die Definition flächiger Objekte vorgenommen werden. Es ist einleuchtend, daß man bei zweidimensionalen Darstellungen nur zwei Koordinaten für jeden

Eckpunkt benötigt. Das 3D-Standardprogramm ist allerdings schon für größere Aufgaben, nämlich 3D-Darstellungen, eingerichtet, so daß drei Koordinaten für jeden Eckpunkt angegeben werden müssen. Die nicht benutzte Z-Koordinate kann daher als Nullwert angegeben werden. Auf diese Weise können mit dem 3D-Standardprogramm sowohl flächige als auch räumliche Objekte dargestellt werden. Bild 2.6 gibt Hinweise für die Objektdefinition und die dabei entstehenden Eckpunktlisten. Die drei Objekte stellen eine gute Vorübung für den Umgang mit dem 3D-Standardprogramm dar, weil die Dateneingabe übersichtlicher bleibt und Fehler bei der Eingabe leichter gefunden werden können.

Die DATA-Zeilen für das Objekt «Quadrat» lauten:

```
1030  DATA 3,3,0, 3,-3,0, -3,-3,0, -3,3,0
```

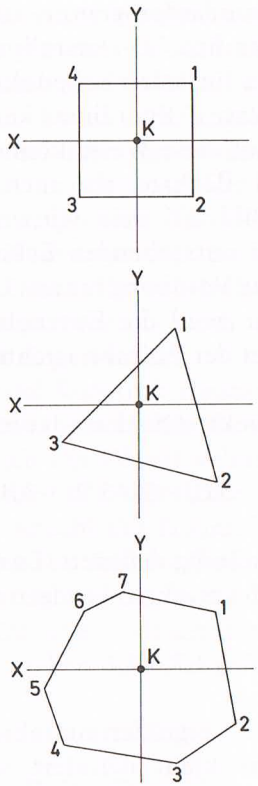
Damit sind die Eckpunkte vollständig definiert. Es müssen nur noch die Linien zwischen den Eckpunkten gezogen werden:

```
1160  DATA 5,1,2,3,4,1
```

Im Eingabefeld kann man den Vergrößerungsfaktor auf 400 einstellen, da das Objekt sehr klein definiert worden ist. Genauere Hinweise für den Umgang mit dem 3D-Standardprogramm finden sich im Abschnitt 3.3 «3D-Grafik».

Die Bildausgabe läßt schon Schlüsse auf die Schnelligkeit der Darstellung zu – ein Faktor, der uns später noch beschäftigen wird. Je zahlreicher nämlich die Eckpunkte werden, um so langsamer erfolgt die Bildausgabe. Der CPC464 kann in diesem Zusammenhang als ausgesprochen schnell bezeichnet werden, was bei anderen Rechnern nicht immer der Fall ist. Es können Verlangsamungen bis zum Faktor 10 entstehen!

Zur Verarbeitung von Flächen genügt jedoch auch ein einfaches Programm, wie es in Abschnitt 3.1 beschrieben ist (Shapes).



P	X	Y	Z
1	3	3	0
2	3	–3	0
3	–3	–3	0
4	–3	3	0

P	X	Y	Z
1	2	4	0
2	4	–4	0
3	–4	–2	0

P	X	Y	Z
1	4	3	0
2	5	–3	0
3	2	–5	0
4	–4	–4	0
5	–5	–1	0
6	–3	3	0
7	–1	4	0

Bild 2.6 Objektdefinition und Eckpunktlisten

2.3 Drahtmodelle

In der darstellenden Geometrie wird eine besondere Form der Darstellung von Objekten gewählt, um alle Bildpunkte mit entsprechenden Bezeichnungen versehen zu können. Diese Form der Darstellung wird als Drahtmodell bezeichnet (Bild 2.7). Man könnte sich das Objekt auch als räumliches Drahtgebilde vorstellen.

Die erweiterte Form wäre ein Ansichtsmodell des Objektes, das alle nicht sichtbaren Linien (Hidden line) in der Zeichnung fortläßt. Diese Ansicht entspräche unserem gewohnten Sehen.

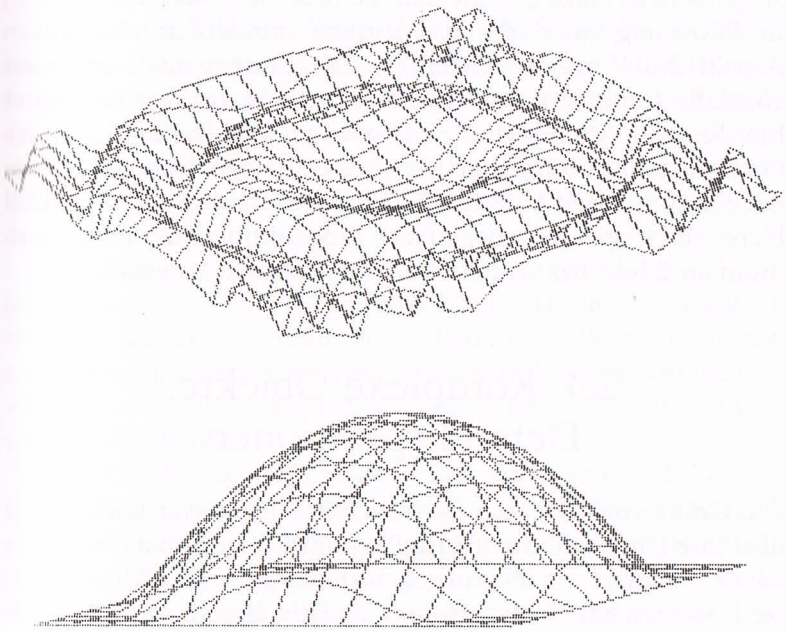


Bild 2.7 Drahtmodelle eines Objekts

Ein Programm kann natürlich auch zur Darstellung von Ansichts- oder Flächenmodellen geschrieben werden. Eine entsprechende Routine fragt vor dem Zeichnen ab, ob ein Punkt vom Betrachter aus sichtbar ist oder nicht. Dementsprechend wird der Punkt gesetzt oder nicht gesetzt.

Der Aufwand hierfür hält sich in Grenzen. Befindet sich das Objekt hingegen in Bewegung, muß diese Routine für jede Einzelphase wirksam sein. Infolge der veränderten Perspektivebedingungen eines jeden Bildes werden diese Routinen sehr aufwendig und mathematisch anspruchsvoller.

Die Vereinfachung der Problematik spricht also für das Drahtmodell. Bei komplexen Objekten tritt eine Linienvielfalt störend in Erscheinung. Die Ausdeutung des Objekts durch das Auge kann in Frage gestellt sein. Befindet sich das Objekt jedoch in Bewegung, wird die Ausdeutung durch den räumlichen Aspekt des Vorgangs erleichtert. Die Linienvielfalt erscheint ebenfalls gemindert, wenn sich das Objekt auf den Betrachter hin bewegt. Man sollte also etwaige Vorbehalte gegen die Drahtmodelldarstellung erst artikulieren, wenn man Drahtmodelle in filmischer Aufzeichnung gesehen hat. Das Drahtmodell bietet durch seine relativ einfache Programmierbarkeit ein Optimum an Effekt bei vergleichsweise geringem Aufwand.

2.4 Komplexe Objekte, Detaildispositionen

Die Größe von Objekten auf dem Bildschirm sagt noch nichts über ihre Dimensionierung im Programm aus, zumal ein Objekt durch Parameterveränderungen beliebig groß oder klein dargestellt werden kann. Als Objektgröße ist vielmehr seine Ausdehnung auf dem Konstruktionsfeld zu verstehen. Hier können die Verhältnisse durchaus unterschiedlich sein.

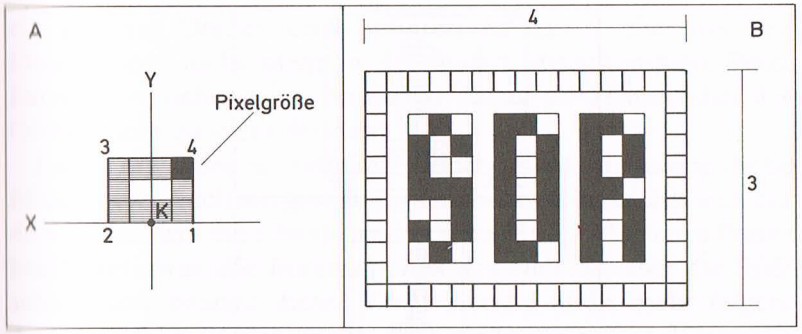


Bild 2.8 Detaildisposition eines Objekts

Es stellt sich daher die Frage, welche Mindestgröße das Objekt haben muß, um es korrekt darzustellen. In vielen Fällen ist diese Frage leicht zu beantworten, wenn es sich um einfache Formen des Objekts handelt. Wird jedoch beabsichtigt, in einem Objekt ein Detail anzubringen, so muß die Detailgröße in vernünftiger Beziehung zu dem umgebenden Objekt stehen. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen (Bild 2.8).

Programmieren wir ein Rechteck von der Größe 3 × 4. Dann ist das Rechteck 4 Pixel lang und 3 Pixel hoch. In dem Rechteck verbleibt nur ein Leerraum von 2 Pixeln (A). Würden wir nun versuchen, in diesen Leerraum einen Schriftzug einzufügen, so wäre das schlicht unmöglich, weil die Pixel nicht weiter unterteilt werden können.

Diese Überlegung führt zu einer Lösung, wie sie im Bild unter B aufgeführt ist. Das Rechteck muß also mindestens so groß sein, daß sich der Schriftzug einwandfrei in dem Rechteck unterbringen läßt. Die Zeichnung macht deutlich, daß hierzu 15 Pixel waagerecht und 11 Pixel senkrecht notwendig sind.

Aus diesem Sachverhalt wird klar, daß die Detailobjekte die Größe des Objekts in der Matrix bestimmen. Es ist frustrierend,

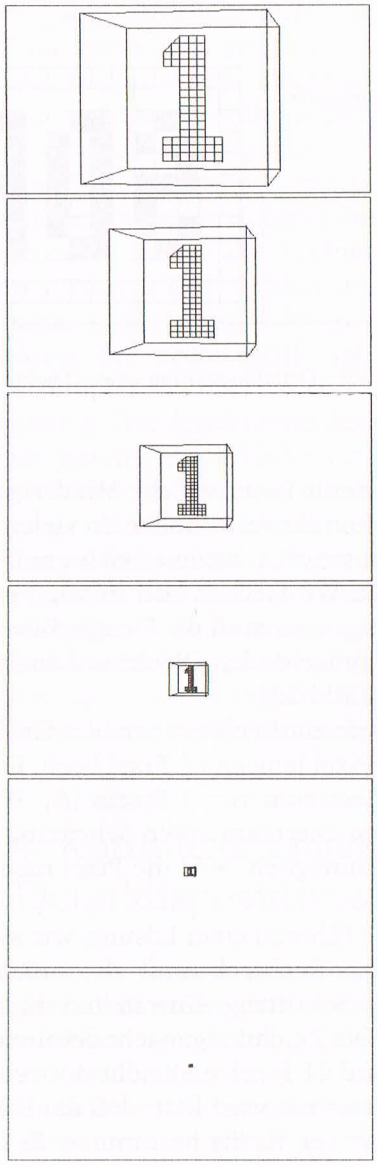


Bild 2.9 Verkleinerung eines Objekts durch Parameterveränderung im Programm, also nicht bei der Definition des Objekts

ein größeres Objekt fertig definiert zu haben, aber mit den Details dann nicht mehr in der Matrix auszukommen. Beim Entwurf ist daher von vornherein darauf zu achten, daß das Objekt nicht zu klein definiert wird.

Diese Erwägungen betreffen jedoch nicht die tatsächliche Bildausgabe. Auch ein großzügig definiertes Objekt läßt sich auf dem Bildschirm zum Punkt verkleinern (Bild 2.9). Dieser Punkt beinhaltet zwar alle Informationen des Objekts, aber die Bildschirmpixel können dieser Verkleinerung nicht mehr folgen. Anders verhält es sich, wenn das Objekt vergrößert dargestellt wird. Hier driften die Eckpunkte proportional auseinander und werden durch immer längere Linien miteinander verbunden. Das Objekt kann schließlich so groß werden, daß nur mehr wenige Linien auf dem Bildschirm verbleiben und der Betrachter sich gleichsam im Objekt befindlich fühlt.

```
1   REM ----------------------------------
2   REM        ***** SHAPES *****
3   REM ----------------------------------
4   REM  ---- 2D-ZEICHENPROGRAMM ----
5   REM ----------------------------------
10      DEG:INK 0,0:INK 1,24:BORDER 1
15      CLS
20      D=30
28  REM ----------------------------------
30  REM  ---- BILDPHASENSCHLEIFE ----
32  REM ----------------------------------
40      FOR ALPHA=0 TO 360 STEP 6
50  REM CLS
60      RESTORE
65  REM -- ZEICHNEN DES 1.BILDPUNKTES ---
70      READ X,Y
80      GOSUB 190:PLOT BX,BY
85  REM -------- LINIENZIEHEN -----------
90      FOR I=2 TO 5
100     READ X,Y
110     GOSUB 190
120     DRAW BX,BY
130     NEXT I
135 REM ----- ITERATIVE SCHLEIFE --------
140     D=D-1
150     IF D<0 THEN 170
160     NEXT ALPHA
170     END
180 REM --- KOORDINATENTRANSFORMATION ---
190     XE=X*COS(ALPHA)-Y*SIN(ALPHA)
200     YE=X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
210     BX=D*XE+320:  BY=D*YE+200
220     RETURN
225 REM ------- OBJEKTDATEN -------------
230     DATA -5,5,5,5,5,-5,-5,-5,-5,5
```

Listing 3.1

3 Programmierung

3.1 Programmierung von Shapes

Dieses 2D-Programm ist ein Standardzeichenprogramm für Shapes. Shapes sind durchgehende Linienzüge eines Bildmotivs. Man kann sie zeichnerisch mit Papier und Bleistift so darstellen, daß der Bleistift niemals abgesetzt werden muß.

Im Shape folgt ein Linienzug dem anderen – oder genauer gesagt, ein Bildpunkt wird immer mit dem nächstfolgenden durch eine Linie verbunden. Ist ein Shape durch seine Bildpunkte in den DATA-Zeilen definiert, kann es beliebig gedreht, vergrößert, verkleinert oder auch verschoben werden. Hierdurch bietet sich eine Fülle von Animationsvorgängen an, die wir im einzelnen genauer betrachten wollen.

Das Programm ist besonders für Animationsvorgänge ausgelegt und nicht für die Darstellung von Einzelphasen, obwohl im Verlauf des Programms eine Reihe von Einzelphasen auf den Bildschirm gebracht wird. Dies geschieht jedoch in stetiger Folge. Will man bestimmte Einzelphasen auf den Schirm bringen, muß das in der Bildphasenschleife besonders berücksichtigt werden. Das Programm liefert einen stetigen Phasenablauf, wobei die Anzahl der Bildphasen vorher bestimmt werden kann. Sollen die Phasen zur filmischen Aufzeichnung dienen, muß

eine entsprechende Warteschleife den Bildfluß verzögern, damit der Kameraauslöser in der Stillstandsphase betätigt werden kann.

In das Programm müßte die Zeile

```
155  For W=1 TO 500: NEXT
```

eingefügt werden. Sollte die Stillstandszeit des Bildes nicht ausreichen, kann der Wert auf 1000 oder 1500 vergrößert werden.

Der Wert dieses Programms besteht darin, daß man sich um die Matrizenoperationen in den Zeilen 180 bis 210 nicht besonders kümmern muß. Man benutzt diese mathematischen Gegebenheiten zur Bildbewegung, ohne sie im einzelnen besonders verstehen zu müssen. Das Arbeiten mit diesem Programm beschränkt sich daher auf die Eingabe der Objektdaten und auf die Einstellung der Bildausgabeparameter. Ist das Programm auf Diskette oder Kassette gespeichert, kann es jederzeit leicht den entsprechenden Aufgaben angepaßt werden. In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen, daß eine größere Zahl von Objektdaten den Bildaufbau entsprechend verlangsamt.

Zum besseren Verständnis soll das Programm in seiner Abfolge Zeile für Zeile kommentiert werden.

Zeile 20:
D ist ein Vergrößerungsfaktor, im vorliegenden Beispiel der Wert 30. Mit diesem Faktor werden die Objektdaten in Zeile 210 multipliziert. Das Quadrat des Bildprogramms besteht zunächst als recht kleine Darstellung auf dem Bildschirm (Seitenlänge 10 Bildpunkte). Mit 30 multipliziert, erreicht es auf dem Bildschirm eine Größe von 300 Bildpunkten. Im Ablauf des Programms wird dieser Wert dann ständig um 1 erniedrigt (Zeile 140), bis der Wert von D < 0 wird. Dann endet das Programm (Zeile 150).

Diese Operation nennt man eine iterative Schleife. Analog zur FOR-NEXT-Schleife hat sie alle Merkmale einer solchen Schleife, also Anfangs- und Endwert, Schleifenvariable und STEP-Funktion. Sie läßt sich jedoch elegant in bestehende FOR-NEXT-Schleifen einfügen, so daß mehrere Bildveränderungen gleichzeitig stattfinden können. In unserem Beispielprogramm wird gleichzeitig gedreht und verkleinert. Denkbar wäre noch eine weitere Bewegung, zum Beispiel eine Verschiebung des Bildmotivs.

Zeile 40:
In dieser FOR-NEXT-Schleife wird die Anzahl der einzelnen Bildphasen für eine volle Umdrehung, also 360°, in Schritten zu 6° festgelegt. In 60 Bildphasen wird also eine volle Umdrehung erzielt. Zeichnet man diesen Bildphasenablauf filmisch auf und führt diesen Vorgang mit 24 Bildern pro Sekunde vor, so erhält man eine volle Umdrehung in 2,5 Sekunden. Das ergibt bereits eine angenehm rund wirkende Animation. Eine Änderung des Steps auf 3° bewirkt eine weitere Verlangsamung und Beruhigung des Animationsvorgangs. Auf diese Weise kann man sehr rationell in die Animationsvorgänge eingreifen.

Zeile 65:
Zeichnen des 1. Bildpunktes. Der Anfang des Shapes wird mit dem 1. Bildpunkt eröffnet. Er wird in Zeile 70 gelesen, einer Koordinatentransformation unterzogen (GOSUB 190) und danach in umgerechneter Form auf dem Bildschirm dargestellt.

Zeile 85:
Zeichnen der weiteren Linien. Der Schleifenwert repräsentiert die Anzahl der folgenden Bildpunkte des Shapes. Hierbei wird der erste Wert nicht mehr benutzt, weil der 1. Punkt bereits gesetzt wurde. Nunmehr zieht der DRAW-Befehl die Linien vom Punkt 1 zu allen weiteren Punkten des Shapes. Selbstverständ-

lich werden auch diese Punkte einer Koordinatentransformation unterworfen (GOSUB 190). Entsprechend der Anzahl der Eckpunkte muß der Schleifenwert abgeändert werden. Für 10 Eckpunkte beispielsweise

```
90 FOR I=2 TO 10
```

Zeile 230:
Die DATAs müssen als Bildkoordinaten für die einzelnen Eckpunkte aufgefaßt werden. Durch die READ-Anweisung wurde eine laufende Folge von X- und Y-Werten vereinbart. Dem Entwurf des Shapes liegt eine Matrix (kariertes Papier) zugrunde, aus der die Werte entnommen werden. Es genügt, wenn das Objekt mit kleinsten Abmessungen gezeichnet wird, da es mit dem Vergrößerungsfaktor D beliebig groß oder klein dargestellt werden kann.

Beim Entwurf der Shapes ist die Lage des Konstruktionsmittelpunktes von besonderer Bedeutung. Von diesem ausgehend werden die X- und Y-Werte der einzelnen Eckpunkte bestimmt, zum Beispiel durch Abzählen der Rasterlinien auf der Zeichenfläche aus kariertem Papier. Um diesen Konstruktionsmittelpunkt wird durch die Rotationsmatrix (Zeilen 190 und 200) das Shape gedreht.

Der Konstruktionsmittelpunkt kann beliebig gewählt werden, er kann unter Umständen auch außerhalb des Bildmotivs liegen. Auf dem Bildschirm kann das Shape mit dem Befehl ORIGIN X,Y, dem Koordinatenursprung, verschoben werden. Fehlt dieser Befehl in anderen Rechnern, kann die Zeile 210 für diese Operation herangezogen werden. Die beiden Zahlenwerte stellen den Bildschirmmittelpunkt des CPC464 dar (320,200). Diese Werte sind entsprechend dem jeweils verwendeten Rechner abzuändern.

Ersetzt man diese Festwerte durch Variable, zum Beispiel MX,MY, so können diese in der Hauptschleife beeinflußt werden, so daß eine kontinuierliche Verschiebung des Shapes bewirkt wird.


```
 15 MX=320: MY=200
 45 MX=MX+1 : REM Verschiebung nach rechts
210 BX=D*XE+MX: BY=YE*D+MY
```

Es kann natürlich auch eine gleichzeitige Y-Verschiebung vorgenommen werden, so daß als Ergebnis eine Diagonalbewegung entsteht:

```
46 MY=MY+1
```

In Zeile 50 wird der Bildschirm nach jeder Bildphasenausgabe gelöscht, um den Animationsvorgang deutlich werden zu lassen. Wird die Zeile 50 fortgelassen, schreiben sich die einzelnen Bildphasen ineinander. Hierbei entstehen ornamentale Kreisgebilde, die auch als Zeichenspiel unter dem Namen «Spirograph» bekannt geworden sind. Die Vielfalt der ornamentalen Gebilde ist auch in den Computerprogrammen beachtlich (Bild 3.1).

Programmoptionen des «Shape»-Programms:

1. Generieren eines Shapes
2. Rotieren eines Shapes
3. Rotieren rechts/links
4. Verschieben senkrecht/waagerecht/diagonal
5. Beeinflussung der Bildphasenzahl
6. Einstellen der Winkelgröße
7. Vergrößern/verkleinern
8. Mehrfachausgabe des Shapes an verschiedenen Positionen und in verschiedenen Größen

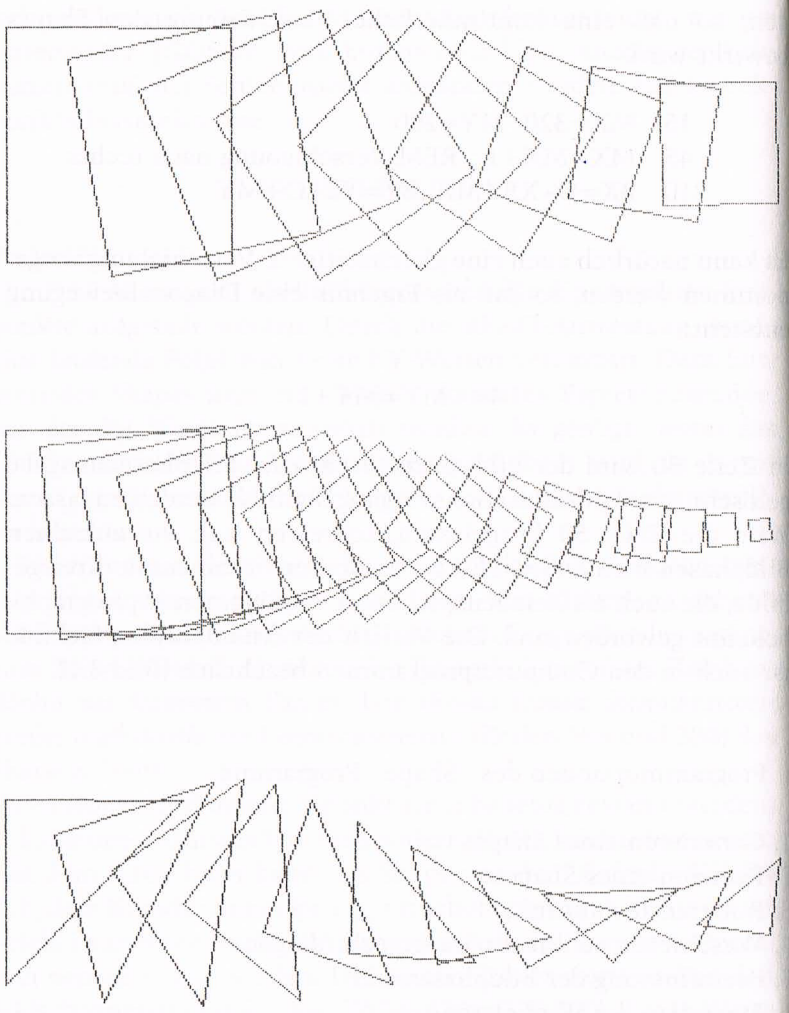


Bild 3.1 90°-Rotation eines Quadrates mit gleichzeitiger Verkleinerung. Es entstehen Zeichentrick-Bildphasen, wenn der Löschbefehl fortgelassen wird. Durch Abändern des STEP-Wertes in der Schleife kann der Animationsvorgang in beliebig viele Einzelphasen aufgeteilt werden.

Zu 1
Das Shape wird auf einer Matrix entworfen, die Eckpunkte werden in Form von DATAs dem Programm übergeben.

Zu 2
Mit dem Winkel Alpha wird die Rotation vorgenommen. Der Winkel Alpha wird in der Bildphasenschleife nach der Ausgabe einer Bildphase weitergestellt. Das folgende Shape erscheint daher um einen bestimmten Winkel gegenüber der vorangegangenen Bildphase verdreht. Die Drehung erfolgt um den Konstruktionsmittelpunkt des Shapes. Die Shapes können auch ineinandergeschrieben werden, wenn der Löschbefehl in der Bildphasenschleife außer Funktion gesetzt wird.

Zu 3
Durch Austauschen eines Pluszeichens gegen ein Minuszeichen in der Rotationsmatrix (oder umgekehrt) wird die Drehrichtung verändert.

Zu 4
Verschiebungen des Shapes können durch Einfügen von iterativen Schleifen in die Bildphasenschleife erzielt werden. Hierbei werden die Bildschirmkoordinaten des Grafikcursors als Variable definiert (MX und MY). Durch Mitlaufen der Variablen in der Bildphasenschleife erfolgt eine Verschiebung des Konstruktionsmittelpunktes des Shapes auf dem Bildschirm. Da sowohl MX als auch MY gleichzeitig in iterativen Schleifen laufen können, lassen sich auch diagonale Verschiebungen erzielen. In der Filmtechnik heißen solche Verschiebungen übrigens Fahrten.

Zu 5
Animationsvorgänge erfordern einen großen gestalterischen Spielraum. Es muß sichergestellt sein, daß sowohl die Phasenanzahl eines Animationsvorgangs als auch die Abweichung von

der vorangegangenen Bildphase unter Kontrolle verbleibt. Die Anzahl der einzeln auszugebenden Bildphasen wird durch die Bildphasenschleife definiert. Die Anzahl der einzelnen Ringphasenanimationen kann durch den Winkel Alpha bestimmt werden. Läuft der Winkel von 0 bis 360 Grad, so macht das Shape eine volle Umdrehung. Weitere Umdrehungen können durch Vergrößern des Alphawertes erreicht werden, wobei auch mathematisch sinnlos erscheinende Winkelangaben gemacht werden können, z. B. von 0 bis 720 Grad für zwei Umdrehungen. Ferner muß die Schleife nicht unbedingt mit 0 beginnen; es kann ein beliebiger Winkel sein. Das Rückwärtszählen der Schleifenwerte mit STEP-1 ist ebenfalls zulässig, wodurch eine Änderung der Rotationsrichtung auf andere Weise bewirkt wird.

Zu 6

Findet sich in der Bildphasenschleife eine STEP-Angabe, so wird der Vorgang der Animation dadurch ebenfalls beeinflußt. Die STEP-Weite ist gleich der Abweichung in Grad von Bildphase zu Bildphase.

```
40  FOR ALPHA=0 TO 360 STEP 36
```

In diesem Beispiel wird jeweils um 36 Grad gedreht, bevor die nächste Bildphase ausgegeben wird. Insgesamt entstehen also 10 Bildphasen der vollen Umdrehung des Shapes. Einen Extremfall stellt dieses Beispiel dar:

```
40  FOR ALPHA=0 TO 360 STEP 0.36
```

Mit dieser STEP-Weite entstehen 1000 Bildphasen einer vollen Umdrehung – eine Unterteilung, wie sie wohl in der Praxis selten vorkommen dürfte. Es soll deutlich machen, daß auch langsamste Animationsvorgänge noch einwandfrei darstellbar sind, was mit handwerklichen Methoden des Animationsfilms nicht mehr durchführbar ist.

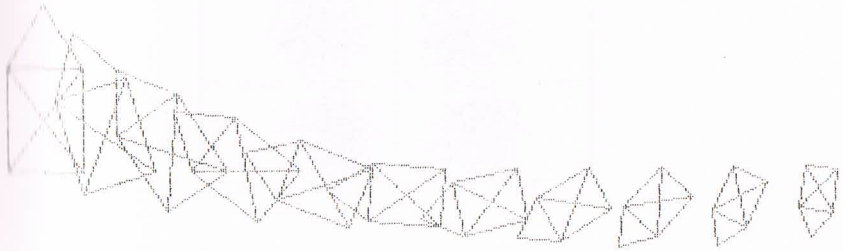
Zu 7

Maßgebend für die Größe eines Shapes auf dem Bildschirm ist der Wert von D. Er stellt einen Faktor dar, der die Bildgröße mit einem beliebigen Wert multipliziert. Die Bildgröße ist durch die Definition des Shapes in der Matrix gegeben, wobei die X- und Y-Werte der Eckpunkte der Anzahl der Pixel auf dem Bildschirm entsprechen. Wird der Wert von D = 1, erfolgt keine Vergrößerung, und das Objekt erscheint in der Größe, wie es in der Entwurfsmatrix definiert wurde. Ist der Wert von D > 1, so erfolgt eine Multiplikation von D mit den X- und Y-Werten der Entwurfsmatrix.

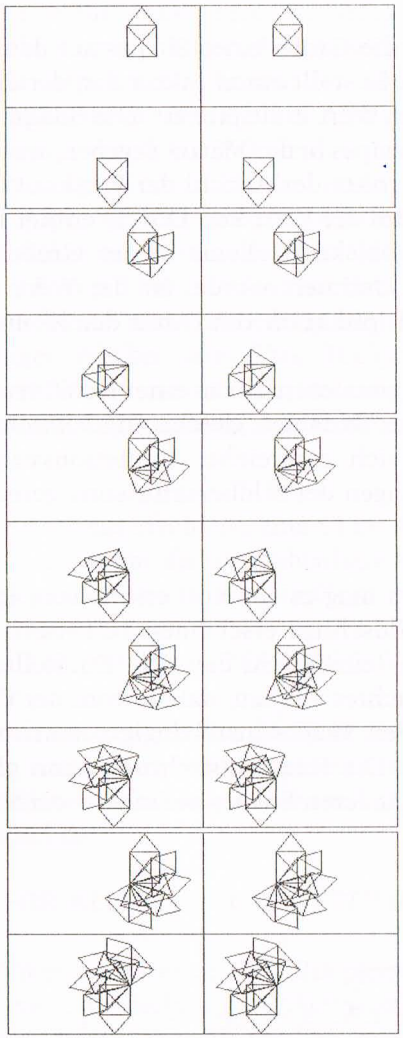
Der Faktor D kann ebenfalls in einer iterativen Schleife laufen oder mit anderen Variablen gleichzeitig verstellt werden. Hierdurch ergeben sich zahlreiche Animationsvorgänge, die fast allen Anforderungen der Bildbeeinflussung gerecht werden.

Zu 8

In einigen Fällen mag es sinnvoll erscheinen, ein Shape mehrfach auf dem Bildschirm erscheinen zu lassen. Das Programm »4fach-Rotation« ermöglicht derartige Darstellungen (Bild 3.2). Dabei sollte beachtet werden, daß sowohl der Ort als auch die Größe der anderen Shapes unabhängig voneinander eingegeben werden können. Die Rotationsrichtung kann gleichfalls unabhängig von den anderen Shapes verändert werden.



DEUTLICHER BEWEGUNGSABLAUF IN EINZELPHASEN
SHAPE GEDREHT, VERSCHOBEN UND VERKLEINERT.



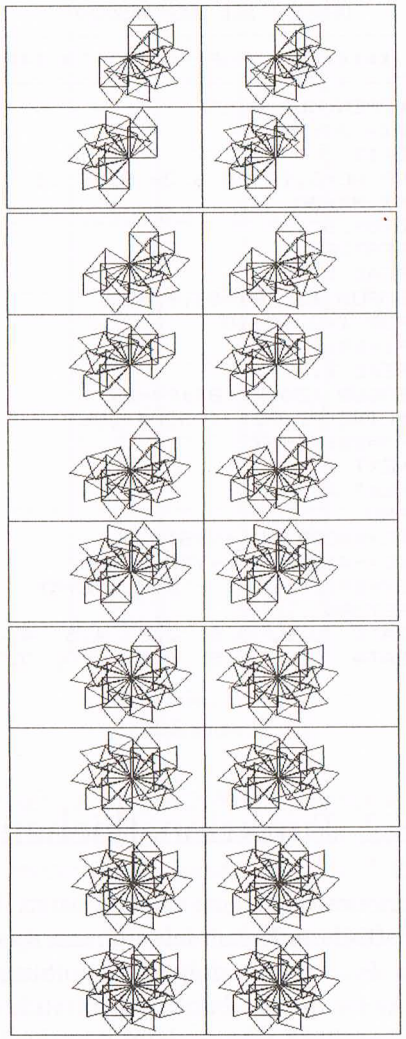


Bild 3.2 4fach-Rotation eines Shapes

```
          GENIE 1 mit HRG-Package
1 REM ---------------------------------
2 REM *******  SHAPE-ROTATION *******
3 REM ---------------------------------
5     #OPEN:CLS:#CLS
7     MX= 30:MY=95
8     D=11
10   FOR AL=3.14 TO 6.28 STEP .3
15    MX=MX+30
16    D=D-.6
20    RESTORE
30    READ X,Y
40    GOSUB 130:P1=BX:P2=BY
50    FOR I=2 TO 10
55    P1=BX:P2=BY
60    READ X,Y
70    GOSUB 130:P3=BX:P4=BY
80    #LINE(P1,P2)-(P3,P4),SET
85    P3=BX:P4=BY
90    NEXT I
110   NEXT AL
120   END
130   XE=X*COS(AL)+Y*SIN(AL)
140   YE=-X*SIN(AL)+Y*COS(AL)
150   BX=D*XE*.8+MX : BY=D*YE+MY
160   RETURN
170   DATA  0,0, 0,5, 2,8, 4,5, 4,0
175   DATA  0,5, 4,5, 0,0, 4,0, 0,0
```

Listing 3.2

3.2 Funktionsflächen

Ein besonders schönes Gebiet ist die 3D-Darstellung mathematischer Funktionsflächen. Es handelt sich um Rasterflächen, die, mathematischen Funktionen folgend, Wölbungen der Fläche bilden. Je nach verwendeter Funktion entstehen Flächen von hohem ästhetischen Reiz, wie sie häufig in der Werbung eingesetzt werden.

Ausgehend von einer rechteckigen Fläche aus X- und Y-Koordinaten werden die einzelnen Bildpunkte mit einer räumlichen

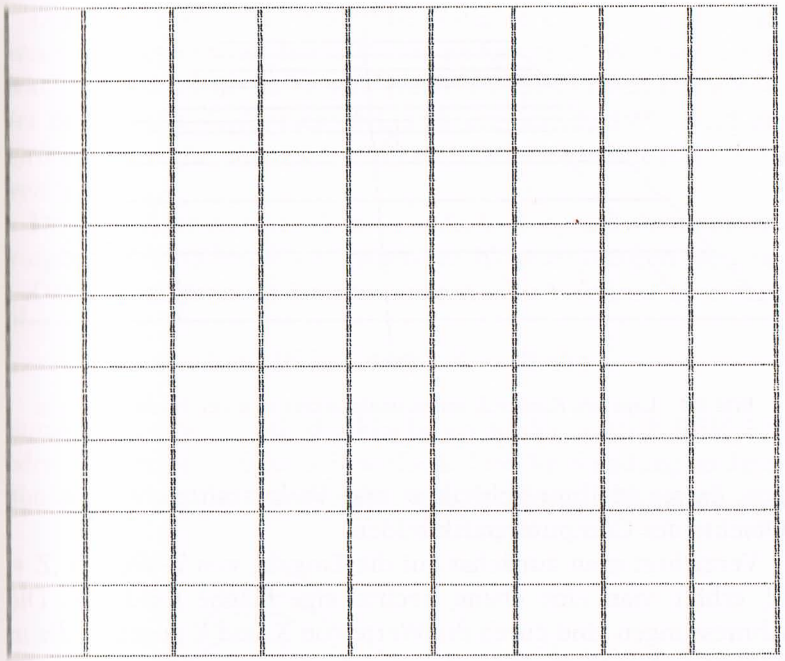


Bild 3.3

Komponente versehen, einem Z-Wert. Repräsentiert dieser eine mathematische Funktion in Abhängigkeit von X oder Y, so nehmen alle Bildpunkte eine Ausdehnung in Z-Richtung vor. Da diese Operation in Schleifenform vorgenommen wird, werden die Z-Werte die gewählte Funktion darstellen. Sieht man noch eine Bildphasenschleife im Programm vor, kann Phasenanimation erzeugt werden. Wird das Programm weiterhin durch eine Rotationsmatrix ergänzt, können die Flächen von allen Seiten betrachtet werden. Diesen Gegebenheiten entspricht das vorliegende Programm. Es ist lohnend, sich eingehender mit der Erzeugung und Darstellung von Funktionsflächen zu beschäfti-

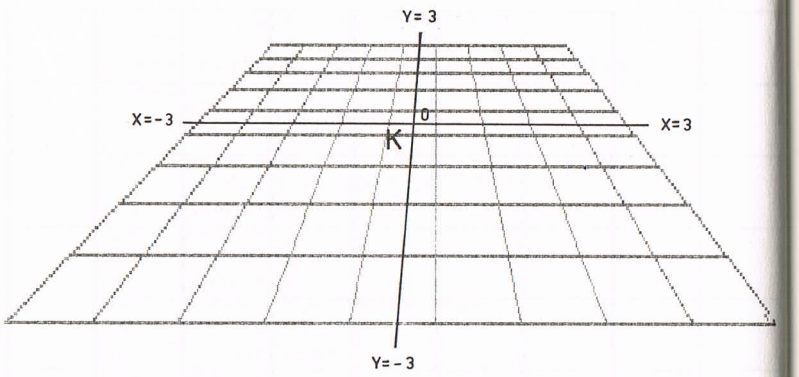


Bild 3.4 Lage des Konstruktionsmittelpunktes in einer Funktionsfläche

gen, da sie in ihrer Schönheit und Vielgestaltigkeit lohnende Objekte der Computergrafik bilden.

Verzichtet man zunächst auf die Eingabe von Z-Werten (Z = 0), erhält man eine ebene, rechteckige Fläche (Bild 3.3). Die Abmessungen sind durch die Werte von X und Y gegeben, die in Schleifen eingefügt sind.

Auch bei diesem Programm ist der Konstruktionsmittelpunkt wieder der Drehpunkt für die Animationsvorgänge. Will man eine zentrische Rotation erzielen, müssen der X- und der Y-Wert entsprechend eingestellt werden. Im Programmbeispiel reicht die X-Erstreckung von −3 bis +3, desgleichen der Y-Wert (Bild 3.4). Damit liegt der Konstruktionsmittelpunkt auf den Koordinaten X = 0 und Y = 0. Der Wert −3 bis +3 ist im Hinblick auf eine Sinusschwingung gewählt worden. Man erzielt somit nahezu eine volle Sinusschwingung der Fläche, da die volle Schwingung von −3.14 bis +3.14 reichen würde. Die Fläche kann dadurch ein gewölbtes Aussehen erhalten.

In den Schleifen ist die STEP-Weite verantwortlich für die Rasterweite der Funktionsfläche. Kleine STEP-Werte bilden engere Raster.

Der Bildwinkel wird durch die Variable OB (Objektivbrennweite) eingestellt. Kleinere Werte entsprechen Weitwinkelobjektiven in der Fotografie, größere Werte Objektiven mit größerer Brennweite (Teleobjektive). Mit der Variablen G wird die Größe der Fläche eingestellt. Sie ist in Abhängigkeit von OB zu verstehen.

Die Bildphasenschleife kann zur Aufteilung des Animationsvorgangs in eine beliebige Phasenanzahl herangezogen werden.

Der Z-Wert kann als Funktion von X oder Y definiert werden:

$$Z = SIN(X) \quad \text{oder} \quad Z = SIN(Y)$$

Entsprechend wird sich die Fläche entweder seitlich (Bild 3.5) oder nach hinten (Bild 3.6) wölben. Die Verwendung anderer Funktionen als der Sinusfunktion ist zulässig. Man muß sich

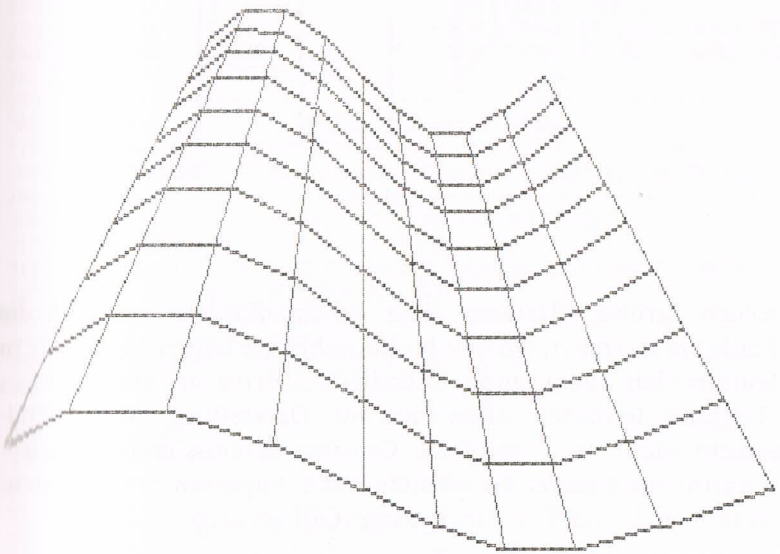


Bild 3.5

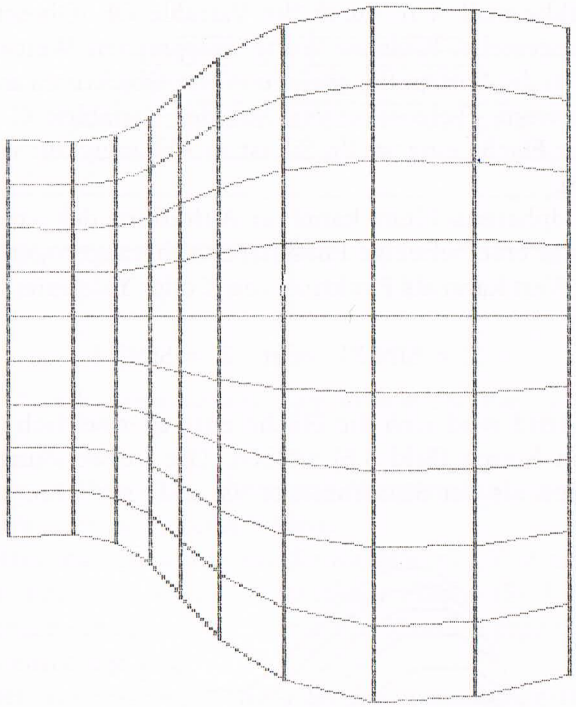


Bild 3.6

jedoch darüber klar sein, über welche Zahlenwerte sich die Funktion erstreckt, wo ihre Nulldurchgänge liegen oder ob sie in Sonderfällen nicht auch unendliche Werte annehmen kann (Tangens). In diesen Fällen wäre eine Darstellung auf dem Bildschirm nicht mehr möglich. Gewisse interessierende Teilabschnitte einer Funktion können durch Anpassen der Schleifenwerte von X und Y jederzeit dargestellt werden.


```
10    REM ==========================================================
20    REM     **** FUNKTIONSFLAECHEN IN 3D-DARSTELLUNG ***
30    REM ==========================================================
40    REM              ----- STANDARDPROGRAMM -----
45    REM ----------------------------------------------------------
50    REM
55    REM ----------------------------------------------------------
60        MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: CLS:  ORIGIN 320,200
70    REM ----------------------------------------------------------
80    REM              EINGABEFELD ZUR BILDVERAENDERUNG
90    REM ----------------------------------------------------------
100       ALPHA  =0              :REM DREHWINKEL 1
110       BETA   =0              :REM DREHWINKEL 2
120       OB     =6              :REM BILDWINKEL(OBJEKTIVBRENNWEITE)
130       G      =300            :REM ABBILDUNGSGROESSE
140       MX     =0              :REM VERSCHIEBUNG 1
150       MY     =0              :REM VERSCHIEBUNG 2
160   REM ----------------------------------------------------------
170   REM   ANFANGS- UND ENDWERTE DER DARZUSTELLENDEN FUNKTION
180   REM ----------------------------------------------------------
190       XA=   -3                  :REM ANFANGSWERT VON X
200       XE=    3                  :REM ENDWERT VON X
210       YA=   -3                  :REM ANFANGSWERT VON Y
220       YE=    3                  :REM ENDWERT VON Y
230       SX=    0.628              :REM STEPWEITE DER X=SCHLEIFE
240       SY=    0.628              :REM STEPWEITE DER Y=SCHLEIFE
242   REM ----------------------------------------------------------
250   REM ----------------------------------------------------------
260   REM                ANZAHL DER BILDPHASEN
270   REM ----------------------------------------------------------
280       FOR BETA =0 TO 6.28 STEP 0.628     :REM 10 BILDPHASEN
290   REM ----------------------------------------------------------
300   REM              SCHLEIFEN FUER DIE Y-LINIEN
310   REM ----------------------------------------------------------
315       W1=SIN(ALPHA):W2=COS(ALPHA):W3=SIN(BETA):W4=COS(BETA)
320       FOR Y=YA TO YE STEP SY: X=XA
330       GOSUB 700: GOSUB 520: P1=BX: P2=BY
340       FOR X=XA TO XE STEP SX
350       GOSUB 700: GOSUB 520: P3=BX: P4=BY
360       PLOT P1,P2: DRAW P3,P4
370       P1=P3: P2=P4
380       NEXT X,Y
390   REM ----------------------------------------------------------
400   REM                SCHLEIFEN FUER DIE X-LINIEN
410   REM ----------------------------------------------------------
420       FOR X=XA TO XE STEP SX: Y=YA
430       GOSUB 700: GOSUB 520: P1=BX: P2=BY
440       FOR Y=YA TO YE STEP SY
```

```
450        GOSUB 700: GOSUB 520: P3=BX: P4=BY
460        PLOT P1,P2: DRAW P3,P4
470        P1=P3: P2=P4
480        NEXT Y,X
485    REM HIER DRUCKBEFEHL EINFUEGEN !
490        CLS
500        NEXT BETA
510        END
520    REM ---------------------------------------------------------
530    REM                PERSPEKTIVEBERECHNUNGEN
540    REM ---------------------------------------------------------
560        PX=X*W1+Y*W2
570        PY=X*W2*W4-Y*W1*W4+Z*W3
580        PZ=X*W3*W2-Y*W3*W1-Z*W4+OB
```

Funktionsflächen

```
590        BX= G*(PX/PZ)+MX
600        BY= -G*(PY/PZ)+MY
650    REM ---------------------------------------------------------
700        Z=SIN(2*Y):REM  FUNKTION, DIE ZUR DARSTELLUNG KOMMT
705    REM ---------------------------------------------------------
710        RETURN
```

Listing 3.3

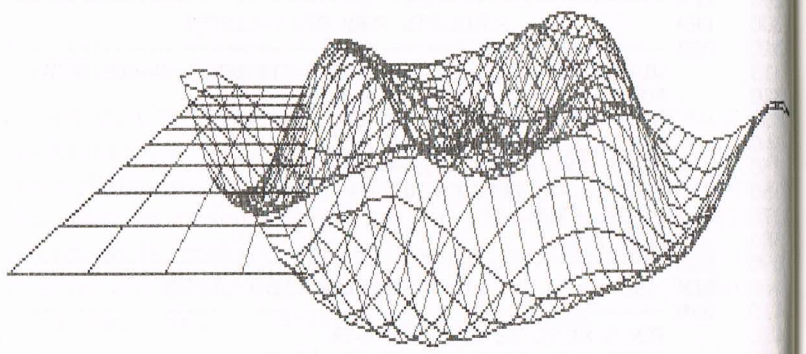


Bild 3.7 Funktionsflächendarstellung einer mathematischen Funktion

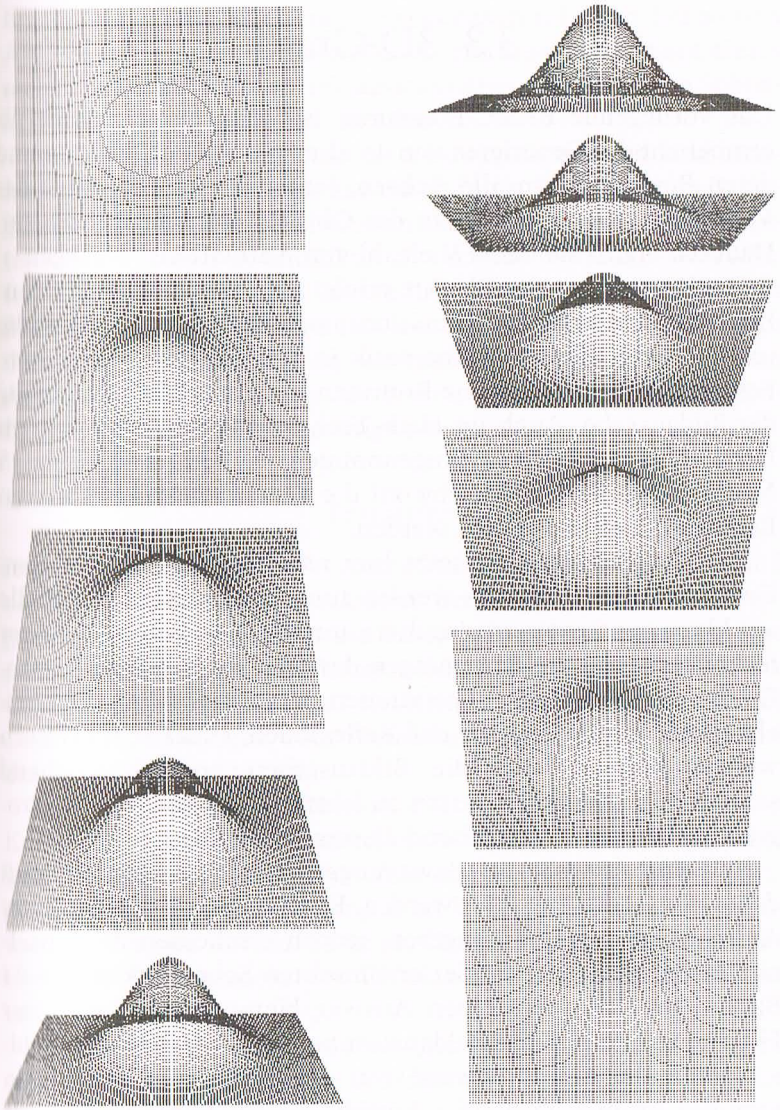


Bild 3.8 Funktionsfläche in räumlicher Drehung

3.3 3D-Grafik

Das vorliegende BASIC-Programm ist sehr leistungsstark. Es ermöglicht das Generieren von dreidimensionalen Objekten und deren Bewegung um alle Achsen, ferner das Verschieben, das Vergrößern oder Verkleinern des Objekts auf dem Bildschirm. Dadurch ergibt sich eine Vielzahl von Animationsvorgängen.

Die Darstellung der Objekte erfolgt als Drahtmodell. Hidden-line-Routinen sind in Animationsprogrammen sehr aufwendig und nur mit höherer Mathematik in den Griff zu bekommen. Ferner führen Hidden-line-Routinen zu einer Verlangsamung der Bildausgabe. Auch im High-Tech-Standard müssen extrem lange Bildausgabezeiten hingenommen werden, etwa 5 bis 15 Minuten pro Einzelbild, obwohl die derzeit leistungsfähigsten Rechner (Cray) verwendet werden.

Ein Personalcomputer setzt hier natürlich erst recht engere Grenzen. In Profi-Studios werden zunächst auch Drahtmodelle auf kleineren Rechnern simuliert, um die Bewegungsparameter festzulegen und die Bewegungen des Objekts zu kontrollieren. Da die weiteren Rechenoperationen, wie Hidden-line, Oberflächenbeschaffenheit, Farbe und Reflexionen, außer acht gelassen werden können, sind die Bildausgaben noch hinreichend schnell, um rationell arbeiten zu können. Das vorliegende Programm entspricht weitgehend diesem Standard.

Auf eine Ausgabe der Bewegungsvorgänge in Echtzeit muß daher zunächst verzichtet werden. Es wird zwar ein kompletter Animationsvorgang ausgegeben, jedoch erscheinen die einzelnen Bildphasen nicht in der erwünschten Schnelligkeit von 24 Bildern pro Sekunde. Einen Ausweg bietet der Einsatz einer Filmkamera mit Einzelbildauslösung. Nimmt man die Bildschirmphasen einzelbildweise mit der Filmkamera auf, kann man die Animation bei der Vorführung des Films in Echtzeit erleben. Hierzu genügen Super-8-Kameras vollauf. Die erzielten

Ergebnisse entsprechen im Bewegungsablauf dem bekannten ARD-Sendezeichen. Wenn irgend möglich, sollte man auf dieses recht preiswerte Hilfsmittel zurückgreifen, um die ganze Schönheit der Bewegungsabläufe zu erleben.

Auch Hardcopies der einzelnen Bewegungsphasen sind empfehlenswert. Man erkennt auf einen Blick den gesamten Bewegungsablauf, andererseits können die Hardcopies wie Zeichentrickphasen coloriert und filmisch verwendet werden – ein Mittel, das auch die flächige Darstellung von Objekten zuläßt. Als filmische Layout-Skizzen haben diese Darstellungsformen durchaus ihre Berechtigung, vermitteln sie doch mit geringem Aufwand eine Vorstellung von Bewegungsabläufen, wie sie häufig in Lehrprogrammen benötigt werden.

Entwerfen

Jedes Objekt, das im 3D-Programm verarbeitet werden soll, muß eindeutig in seinen Koordinaten bestimmt werden. Im Programm werden die Daten des entsprechenden Objekts in eine perspektivische Ansicht umgerechnet. Beim Entwurf ist die Größe des Objekts relativ zu verstehen, denn das Programm läßt auch Vergrößerungen oder Verkleinerungen durch Verändern der Eingabeparameter zu.

Beim Entwurf eines Objekts sollte man einer technischen Konstruktionszeichnung nahekommen. Die Länge der Linien und die Lage der Eckpunkte müssen eindeutig festgelegt sein. Für solche Entwurfszeichnungen ist kariertes Papier oder Millimeterpapier von Vorteil. Es ist ein Grundriß, eine Vorderansicht und eine Seitenansicht des Objekts im gleichen Maßstab zu erstellen.

Nachdem diese drei Ansichten gezeichnet worden sind, wird eine perspektivische Skizze des Objekts angefertigt, aus der die Lage aller Eckpunkte zu ersehen ist. Dabei kommt es nicht auf die Maßhaltigkeit an, sondern nur auf die Wiedergabetreue. Die

Zeichnung muß so groß sein, daß alle Eckpunkte durchnumeriert werden können, ohne daß es zu Unklarheiten über die Zuordnung der Nummern kommen könnte. Ist das Objekt zu komplex, müssen gegebenenfalls Detailskizzen angefertigt werden (siehe Abschnitt 2.4).

Die Numerierung der Eckpunkte hat den Zweck, zwischen diesen bestimmte Linien zu ziehen, wie sie aus der perspektivischen Zeichnung zu entnehmen sind. Mit der Numerierung kann an beliebiger Stelle begonnen werden, sie stellt jedoch gleichzeitig den Startpunkt für das Zeichnen des Objekts auf dem Bildschirm dar. Man sollte auch logisch zusammengehörende Linienzüge fortlaufend numerieren, schon im Hinblick auf eventuelle Fehlersuche.

Nachdem alle Eckpunkte durchnumeriert worden sind, werden die Koordinaten der einzelnen Eckpunkte durch Abzählen in der Entwurfsmatrix bestimmt. Jeder enthält drei Angaben:

X-Wert, Y-Wert, Z-Wert

Hierdurch wird jeder Eckpunkt sowohl in seiner flächigen Lage (X,Y) als auch in seiner räumlichen (Z) im Koordinatensystem bestimmt. Legt man ein Koordinatensystem zugrunde, muß auch ein Nullpunkt bestimmt werden, von dem ausgehend die Ordinaten und Abszissen abgemessen werden können, in unserem Falle die Kästchen des Entwurfspapiers. Die Lage unseres Objekts zu diesem Nullpunkt hat entscheidende Bedeutung, denn um diesen wird das Objekt später vom Programm gedreht.

3.4 Eckpunktarray, Linienarray

Wenden wir uns nun der Programmierung zu. Das 3D-Standardprogramm erwartet die Eingabe von Objektdaten. Diese Daten werden in Form einer Eckpunktliste (Array) in das Programm übergeben. Da diese Datenmengen sehr unanschaulich sind, ist ein Ordnungsprinzip durchaus sinnvoll. Vor der Eingabe der Daten sollte daher eine Liste aus den Eckpunktdaten geschrieben werden. In mehreren Spalten werden die Daten geordnet und kommentiert, damit spätere Korrekturen auf einfache Weise möglich werden.

Die Eckpunktdaten werden dem Programm in Form von DATA-Zeilen übergeben. In diesen stehen der X-Wert, der Y-Wert und der Z-Wert als ein Datenblock nebeneinander, dann folgt der nächste X-Y-Z-Block (insgesamt bis zu 10 dieser Blöcke in einer DATA-Zeile). Es würden sich auch noch weitere in einer DATA-Zeile unterbringen lassen, jedoch leidet die Übersichtlichkeit darunter. Eine weitere Spalte ist für die Objektbeschreibung reserviert, auch diese Spalte erleichtert die Fehlersuche (Bild 3.9).

Aus der obenstehenden Eckpunktliste lassen sich nun DATA-Zeilen in BASIC schreiben.

```
950  DATA  -65,-40,17, -65,40,17, 65,40,17, 65,-40,17,
           -60,-35,17,-60,35,17, 60,35,17, 60,-35,17,
           -65,-40,-17, -65,40,-17
```

Die nächsten DATAs werden dann unter der Zeilennummer 951 usw. untergebracht, bis alle Eckpunktdaten geschrieben sind. Ihre Anzahl (Datenblöcke, nicht Einzeldaten!) wird ermittelt und in einer REM-Zeile unter dem Eckpunktarray notiert.

Eckpunkt	X	Y	Z	Objekt
1	−65	−40	17	
2	−65	40	17	
3	65	40	17	
4	65	−40	17	
5	−60	−35	17	
6	−60	35	17	
7	60	35	17	
8	60	−35	17	Rahmen
9	−65	−40	−17	
10	−65	40	−17	
11	65	40	−17	
12	65	−40	−17	
13	−60	−35	−17	
14	−60	35	−17	
15	60	35	−17	
16	60	−35	−17	
17	−50	10	7	
18	−50	20	7	
19	−45	25	7	
20	−20	25	7	
21	−15	20	7	
22	−15	5	7	
23	−20	0	7	
24	−15	−5	7	Zahl 3
25	−15	−20	7	
26	−20	−25	7	
27	−45	−25	7	
28	−50	−20	7	
29	−50	−10	7	
30	−35	10	7	
31	−35	−15	7	
32	−30	−15	7	
33	−30	−5	7	
34	−42	−5	7	
35	−42	5	7	
36	−30	5	7	
37	−30	15	7	
38	−35	17	7	
39	−35	10	7	
40	−10	−5	7	
41	−10	5	7	Zeichen '−'
42	10	5	7	
43	10	−5	7	
44	15	−25	7	
45	15	25	7	Buchstabe 'D'
46	45	25	7	
47	50	20	7	
48	50	−20	7	
49	45	−25	7	
50	30	−15	7	
51	30	15	7	
52	35	15	7	
53	35	−15	7	

Bild 3.9 Eckpunktliste mit Anmerkungen

Linienarray

Zwischen den Eckpunkten müssen nur noch Linien gezogen werden, um das Objekt darzustellen. Das Linienziehen erfolgt durch eine weitere Programmaktion. In ähnlicher Weise wie bei den Eckpunkten wird wieder eine Liste der Linienzüge erstellt (Tabelle 3.1). Von der perspektivischen Skizze ausgehend werden die Linien zwischen den einzelnen Eckpunkten als Datenfolgen aufgelistet. Anschließend wird diese Liste als BASIC-Programm geschrieben.

Im Objekt sollen die Eckpunkte 1-2-3-4-5 durch Linien verbunden werden. Das Programm erwartet dann folgende Eingaben:

```
1500  DATA 5,1,2,3,4,5
```

Der erste DATA-Wert stellt die Anzahl der Eckpunkte dar, die durch Linien verbunden werden sollen. Es sind die Eckpunkte Nr. 1, 2, 3, 4 und 5. Da es 5 Eckpunkte sein sollen, die durch Linien zu verbinden sind, lautet der erste Wert 5.

Sollen nur die ersten drei Eckpunkte durch Linien verbunden werden, müßte unsere DATA-Zeile so aussehen:

```
1500  DATA 3,1,2,3
```

Nach Abarbeitung der Zeile 1500 wird das Linienziehen zunächst abgebrochen. Beabsichtigt man, die Linie auch noch über den Eckpunkt Nr. 5 hinaus zu ziehen, also Nr. 5 mit 6 und 7 zu verbinden, muß Eckpunkt Nr. 5 in der folgenden DATA-Zeile nochmals gesetzt werden:

```
1500  DATA 5,1,2,3,4,5
1510  DATA 3,5,6,7
```

In dieser Weise lassen sich beliebig lange Linienzüge darstellen.

Zeile	Nr.	Kantenzüge						Objekt

Tabelle 3.1

Infolge einer entsprechenden READ-Vereinbarung werden jeweils nur 5 Eckpunkte in einer DATA-Zeile verbunden. Es könnten auch mehr vereinbart werden, nur leidet dabei die Übersichtlichkeit der Datenfolgen.

Wird der Eckpunkt der vorangegangenen Zeile nicht mehr aufgerufen, unterbricht der Linienzug beim letzten Eckpunkt einer DATA-Zeile. Hierdurch ist es möglich, an beliebiger Stelle mit dem Linienzeichen fortzufahren oder aufzuhören.

Es ist relativ schwierig, größere Datenmengen fehlerfrei einzugeben. Als häufigste Fehlerquelle erweisen sich überflüssige oder fehlende Kommata in den DATA-Zeilen, ferner das Fehlen eines Wertes in den vereinbarten Datenangaben (READ-Befehl). Diese Fehler führen sofort zu einem Error, und das Programm läuft nicht. Da die Suche sehr zeitraubend ist, sollte man von vornherein langsam und präzise arbeiten.

Befinden sich alle Linienoperationen in DATA-Zeilen, müssen diese mit den Linienoperationen abgezählt und in einer REM-Zeile unter dem Linienblock notiert werden. Die Anzahl der Eckpunkte und der Linienzeilen wird später zur Eingabe in das 3D-Programm benötigt.

Vor einem weiteren Fehler sei dringend gewarnt: Definieren Sie am Anfang keine Superobjekte! Erstens ist die Ausgabezeit dann schon beachtlich lang, zweitens werden Sie eine Fülle von heimtückischen Fehlern im Programm haben, die Sie als Anfänger schwer entdecken oder einschätzen können. Beginnen Sie daher mit einfachen Objekten wie Würfeln, Pyramiden und ähnlichem.

3.5 Programmstruktur und Animation

Wenn alle DATA-Zeilen an das Programm angefügt sind (ab Zeile 1000), kann man mit der Bildausgabe beginnen. Absichtlich wurde im Programm auf eine Menüsteuerung der Eingaben verzichtet. Lediglich die Menge der Eckpunktdaten und die Anzahl der Linienoperationen werden am Anfang des Programms abgefragt. Alle anderen Parametereinstellungen müssen direkt im Programm vorgenommen werden. Das führt zu einem besseren Verständnis der einzelnen Komponenten und macht Sie sicherer im Umgang mit dem Programm.

Im Eingabefeld des Programms befinden sich alle wichtigen Parameter des Programms. Durch Verändern dieser Variablen lassen sich die Bildbewegungen kontrollieren. Sie finden die drei Winkel Alpha, Beta und Gamma zum Drehen des Objekts und die Verschiebevariablen VX, VY und VZ. Die Größe des Objekts wird mit G eingestellt. Besondere Beachtung erfordert der Wert OB. In der Fotografie würde er der Brennweite eines Kameraobjektivs entsprechen, wobei kleine Werte von OB ein Weitwinkelobjektiv und größere Werte von OB ein Teleobjektiv darstellen. Bekanntlich verzeichnen Weitwinkelobjektive die geraden Linien, so daß sich die in der Fotografie manchmal unerwünschten schrägen Gebäudekanten einstellen, andererseits verschaffen diese Objektive den Eindruck von mehr Räumlichkeit des Objekts. Auch im Falle unseres Programms vermitteln kleine Werte von OB (etwa 6 oder 8) mehr Perspektive. Je größer der Wert von OB wird (etwa 50), um so flacher ist die Bildwirkung des Objekts. Mit dem Wert OB verändert sich auch die Abbildungsgröße auf dem Bildschirm. Sie kann durch den Wert G wieder auf die richtigen Bildschirmmaße gebracht werden. Auch eine Verschiebung auf den Betrachter zu kommt mit dem Wert VY in Frage, der eigentlich ein Z-Wert ist, aber infolge der Objektdefinition hier als VY erscheint.

Es lassen sich generell keine verbindlichen Angaben über die Rotationsrichtungen machen, wenn die Objektdefinition nicht vorliegt, denn auf die Lage des Objekts in der Matrix kommt es an, in welcher Weise die einzelnen Parameter funktionieren.

Probieren Sie daher aus, welche Winkelangaben zu bestimmten Bildausgaben führen, und notieren Sie die Ergebnisse. Eine Verallgemeinerung, auch aufgrund der beiden Beispielprogramme, kann nicht erfolgen.

Im allgemeinen funktioniert der Winkel Alpha so, als rotiere das Objekt in Form einer waagerechten Walze auf den Betrachter zu. Der Winkel Beta stellt das Objekt schief oder auf den Kopf, und der Winkel Gamma läßt das Objekt wie eine Drehtür rotieren. Diese Angaben sind jedoch nicht in jedem Falle zutreffend und nur als unverbindlicher Hinweis zu betrachten. Bei jedem Objekt sollten die Funktionen der Drehwinkel getestet werden.

Das 3D-Standardprogramm benötigt zu seiner Funktionsfähigkeit Angaben über die Größe und die Beschaffenheit des darzustellenden Objekts. Am Programmanfang werden diese Eingaben über INPUT-Anweisungen abgefragt. Dabei wird davon ausgegangen, daß das Objekt bereits definiert und die Anzahl der Eckpunkte und Linienoperationen bekannt ist.

Zuerst wird nach der Anzahl der Eckpunkte gefragt und ihre Anzahl in die Variable EP eingelesen. In gleicher Weise wird nach der Anzahl der Linienoperationen gefragt. Ihre Zahl entspricht der Anzahl der DATA-Zeilen für die Linienoperationen. Die entsprechende Variable heißt AD (Anzahl der Datazeilen).

Im ersten Teil des Programms, in den Zeilen 60 bis 170, werden die Arrays dimensioniert. Anders ausgedrückt, werden Datenlisten aus den zur Verfügung stehenden Objektdaten angelegt. Mit Hilfe dieser Arrays werden später die Umrechnungen der Einzelpunkte und Linien vorgenommen.

Das Eingabefeld ist gewissermaßen die Schaltzentrale des Programms. Von hier aus können Bildveränderungen und Bewe-

gungen kontrolliert werden. Die REM-Zeilen geben zusätzlichen Aufschluß.

In Zeile 300 beginnt die Bildphasenschleife. Sie ist für den Animationsvorgang verantwortlich und hat die Aufgabe, das Objekt schrittweise um einen bestimmten Betrag zu drehen. Die STEP-Anweisung repräsentiert die Winkelveränderung von Phase zu Phase. Gleichzeitig bestimmt sie die Anzahl der auszugebenden Bildphasen.

Beispiel:

```
320  FOR GAMMA=0 TO 360 STEP 36
```

Der Winkel Gamma läuft in 36-Grad-Schritten von 0 bis 360 Grad. Der Schleifendurchlauf bringt also 10 Bildphasen auf den Bildschirm.

In die Bildphasenschleife kann jeder andere Winkel, also auch Alpha oder Beta, eingesetzt werden, dann werden die Bildveränderungen durch diesen Winkel bestimmt, und das Objekt dreht sich entsprechend um eine andere Achse.

Sollen mehrere Bewegungen gleichzeitig erfolgen, können in die Bildphasenschleife eine oder mehrere iterative Schleifen (siehe Abschnitt 4.3) eingefügt werden. Die iterative Schleife benötigt wie die FOR-NEXT-Schleife einen Anfangs- und Endwert sowie eine STEP-Angabe. Der Anfangswert ist im Eingabefeld bereits definiert, so daß nunmehr bei jedem Durchlauf der Bildphasenschleife eine Erhöhung oder Verkleinerung des Wertes erfolgen kann. Programmtechnisch drückt sich das folgendermaßen aus:

```
325  ALPHA=ALPHA-10
```

Bei jedem Schleifendurchlauf von Gamma in der Bildphasenschleife wird der Wert von Alpha um 10 Grad verringert. Somit sind zwei Winkelveränderungen gleichzeitig erfolgt. Der Endwert der iterativen Schleife wird durch eine IF-THEN-Anweisung dargestellt:


```
326  IF ALPHA < 0 THEN ALPHA=0
```

In dieser Weise lassen sich beliebig viele iterative Schleifen in der Hauptschleife unterbringen, um die unterschiedlichsten Bewegungskombinationen zu erreichen.

Ab Zeile 340 beginnt die eigentliche Ausgabe der Bildpunkte und Linien. Zunächst werden die Winkelfunktionen als Variable definiert (Zeile 720 und 730).

Danach werden alle Arrays gelesen, durch die Rotationsmatrix in Zeile 800 geschickt und in umgerechneter Form dem Perspektiveprogramm (Zeile 950) übergeben. Als perspektivische Werte gehen sie zurück in die Bildphasenschleife und werden dort gezeichnet.

Anmerkung:
Bei der Umrechnung auf Bildschirmkoordinaten (Zeile 950) stellen die Zahlenwerte 320 und 200 den Bildschirmmittelpunkt des CPC464 dar. Diese Werte können auch als Variable (MX, MY) in iterativen Schleifen laufen und den Ursprung der Bilddarstellung verschieben.

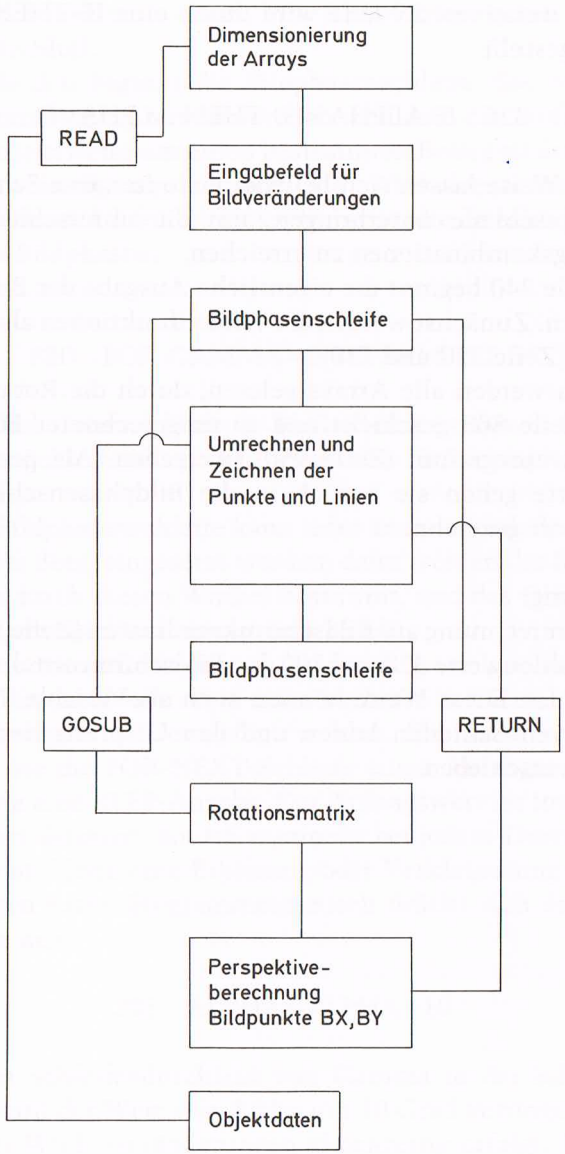


Bild 3.10 Programmstruktur des 3D-Standardprogramms

3.6 3D-Standardprogramm

```
5    REM                    3D - KASTEN
10   REM ==============================================
20   REM      *****   3D-STANDARDPROGRAMM    *****
30   REM ==============================================
40       MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: BORDER 1:CLS:CLEAR
50       INPUT "WIEVIEL ECKPUNKTE HAT DAS OBJEKT(53)";EP
55       INPUT "ANZAHL DER DATAZEILEN ZUM LINIENZIEHEN(22)";AD
56       CLS
57       LOCATE 1,1:PRINT"DATEN WERDEN BERECHNET!"
60   REM ----------------------------------------------
70   REM            DIMENSIONIERUNG DER ARRAYS
80   REM ----------------------------------------------
90       DIM X(EP),Y(EP),Z(EP)
100      DIM BX(EP),BY(EP)
130      DIM K(AD,5)
140      DIM L(AD)
150      FOR I=1 TO EP: READ X(I),Y(I),Z(I):NEXT I
160      FOR I=1 TO AD: READ L(I)
170      FOR J=1 TO L(I) :READ K(I,J):NEXT J: NEXT I
180  REM ----------------------------------------------
190  REM        EINGABEFELD FUER BILDVERAENDERUNGEN
200  REM ----------------------------------------------
210      ALPHA=90      :REM DREHWINKEL 1
220      BETA=180      :REM DREHWINKEL 2
230      GAMMA=0       :REM DREHWINKEL 3
240      VX    =1      :REM VERSCHIEBUNG IN DER X-ACHSE
250      VY    =350    :REM VERSCHIEBUNG IN DER Y-ACHSE
260      VZ    =1      :REM VERSCHIEBUNG IN DER Z-ACHSE
270      OB    =8      :REM BILDWINKEL (OBJEKTIVBRENNWEITE)
280      G     =100    :REM ABBILDUNGSGROESSE
290  REM ----------------------------------------------
300  REM     BILDPHASENZAHL DES ANIMATIONSVORGANGES
310  REM ----------------------------------------------
320      FOR ALPHA=0 TO 360 STEP 10 :REM 36 BILDPHASEN
330  REM ----------------------------------------------
340  REM            UMRECHNUNG DER BILDPUNKTE
350  REM ----------------------------------------------
360      GOSUB 700
370      FOR I=1 TO EP
380      X=X(I): Y=Y(I): Z=Z(I)
390      GOSUB 800
400      BX(I)=BX: BY(I)=BY
410      NEXT I:CLS
420      FOR I= 1 TO AD
430      FOR J=1 TO L(I)-1
```

```
440      P1=BX(K(I,J)): P2=BY(K(I,J)): P3=BX(K(I,J+1))
450      P4=BY(K(I,J+1))
460      PLOT P1,P2: DRAW P3,P4
470      NEXT J,I
473      REM HIER DRUCKBEFEHL EINFUEGEN !
480      NEXT ALPHA:END
700  REM ------------------------------------------------
705      DEG
720      CA=COS(ALPHA):CB=COS(BETA):CC=COS(GAMMA)
730      SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
740      RETURN
800  REM ------------------------------------------------
810  REM                  PUNKTABBILDUNGEN
820  REM ------------------------------------------------
830      X1=X: Y1=CA*Y-SA*Z: Z1=SA*Y+CA*Z
840      X2=CB*X1-SB*Z1: Y2=Y1: Z2=SB*X1+CB*Z1
850      X3=CC*X2-SC*Y2: Y3=SC*X2+CC*Y2: Z3=Z2
860      X4=X3+VX: Y4=Y3+VY: Z4=Z3+VZ
870  REM ------------------------------------------------
880  REM                PERSPEKTIVEBERECHNUNG
890  REM ------------------------------------------------
900      U=-X4/Y4*G
910      V=-Z4/Y4*G
920  REM ------------------------------------------------
930  REM        UMRECHNUNG AUF BILDSCHIRMKOORDINATEN
940  REM ------------------------------------------------
950      BX=320+OB*U
960      BY=200-OB*V
970      RETURN
1000 REM ------------------------------------------------
1010 REM                  ECKPUNKTDATEN
1020 REM ------------------------------------------------
1030     DATA -65,-40,17, -65,40,17, 65,40,17, 65,-40,17,-60,-35,17
1040     DATA -60,35,17, 60, 35,17, 60,-35,17, -65,-40,-17, -65,40,
1050     DATA 65,40,-17, 65,-40,-17, -60,-35,-17, -60,35,-17, 60,35,
1060     DATA 60,-35,-17, -50,10,7, -50,20,7, -45,25,7,-20,25,7
1070     DATA -15,20,7, -15,5,7, -20,0,7, -15,-5,7, -15,-20,7, -20,
1080     DATA -45,-25,7, -50,-20,7, -50,-10,7, -35,-10,7, -35,-15,7
1090     DATA -30,-15,7, -30,-5,7, -42,-5,7, -42,5,7, -30,5,7, -30,
1100     DATA -35,15,7, -35,10,7, -10,-5,7, -10,5,7, 10,5,7, 10,-5,
1110     DATA 15,-25,7, 15,25,7, 45,25,7, 50,20,7, 50,-20,7, 45,-25,
1120     DATA 30,-15,7, 30,15,7, 35,15,7, 35,-15,7
1125 REM 53 ECKPUNKTE
1130 REM ------------------------------------------------
1140 REM                   LINIENDATEN
```



```
1150 REM ------------------------------------------------
1160     DATA 5,1,2,3,4,1
1170     DATA 5,5,6,7,8,5
1180     DATA 5,9,10,11,12,9
1190     DATA 5,13,14,15,16,13
1200     DATA 2,9,1
1210     DATA 2,13,5
1220     DATA 2,14,6
1230     DATA 2,10,2
1240     DATA 2,11,3
1250     DATA 2,15,7
1260     DATA 2,16,8
1270     DATA 2,12,4
1280     DATA 5,17,18,19,20,21
1290     DATA 5,21,22,23,24,25
1300     DATA 5,25,26,27,28,29
1310     DATA 5,29,30,31,32,33
1320     DATA 5,33,34,35,36,37
1330     DATA 4,37,38,39,17
1340     DATA 5,40,41,42,43,40
1350     DATA 5,44,45,46,47,48
1360     DATA 3,48,49,44
1365     DATA 5,50,51,52,53,50
1370 REM 22 DATENZEILEN FUER LINIEN
```

Listing 3.4

3.7 3D-Rotationskörper

Handelt es sich bei dem darzustellenden Objekt um einen runden Körper, so bietet sich ein einfaches Prinzip der Darstellung an. Hierzu müssen nicht alle Eckpunkte eingegeben werden, sondern es genügt, eine halbe Seitenansicht in Rotation zu versetzen. Die Eckpunkte der Seitenansicht müssen allerdings definiert werden. Im weitesten Sinne handelt es sich hierbei um ein Shape, das in Rotation versetzt wird (Bild 3.11).

Der Vorteil dieser Methode liegt auf der Hand – die Anzahl der einzugebenden Eckpunkte reduziert sich drastisch. Mit der STEP-Anweisung in der Hauptschleife kann die Darstellung des Objekts, fein oder grob gerastert, beeinflußt werden.

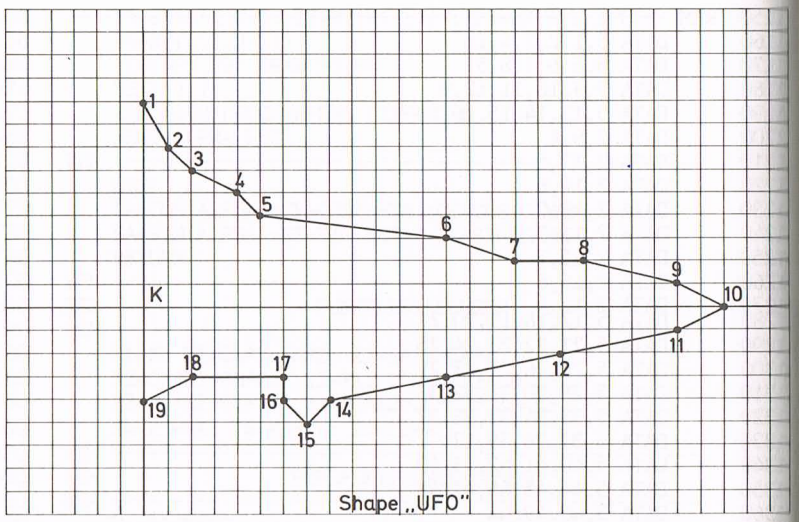


Bild 3.11 Konstruktionszeichnung für ein halbes Shape eines Rotationskörpers

Für das Beispielprogramm «UFO-Start» reichen 13 Eckpunkte und 3 Linienoperationen bereits aus, um ein sehr komplexes Objekt zu erzeugen.

Eine Darstellungsachse ist allerdings für die Animation nicht mehr verwendbar, da sie zur Darstellung des Rotationskörpers bereits verwendet wurde. Es verbleiben somit nur noch zwei Drehwinkel für Animationsvorgänge, statt der üblichen drei.

Das Programm kann eine Erweiterung erfahren, so daß auch die Eckpunkte des Shapes mit jedem weiteren Shape verbunden werden. Es entstehen gitterartige Strukturen des Rotationskörpers, die das Objekt noch besser darzustellen vermögen.

Hierzu müssen bei der Shape-Rotation die einzelnen Eckpunkte in Arrays zwischengespeichert werden. Wenn der Rotationsvorgang durchgeführt und alle Eckpunkte, die die Shapes bei der Rotation eingenommen hatten, zwischengespeichert

sind, kann die eigentliche Bildausgabe aller gewonnenen Eckpunkte nach den üblichen Programmroutinen erfolgen. Dadurch besteht diese Darstellung aus zwei Abschnitten, nämlich der Eckpunktanalyse und Arrayoperation und der Eckpunkt- und Linienoperation. Die Bildausgabe wird zwar durch den ersten Teil des Programms etwas verlangsamt, aber die geringe Anzahl von Eckpunkten wiegt diesen Nachteil wieder auf.

Das Programm «UFO-Start 2» macht von diesen Gegebenheiten Gebrauch.

```
5     REM                 3D-ROTATIONSKOERPER
10    REM ==============================================
20    REM            *****   UFO-START    *****
30    REM ==============================================
40        MODE 1: INK 0,0: INK 1,26: BORDER 1:CLS:CLEAR
45        INK 2,11
50        INPUT "WIEVIEL ECKPUNKTE HAT DAS OBJEKT(13)";EP
55        INPUT "ANZAHL DER DATAZEILEN ZUM LINIENZIEHEN(3)";AD
56        CLS
60    REM ----------------------------------------------
70    REM            DIMENSIONIERUNG DER ARRAYS
80    REM ----------------------------------------------
90        DIM X(EP),Y(EP),Z(EP)
100       DIM BX(EP),BY(EP)
130       DIM K(AD,5)
140       DIM L(AD)
150       FOR I=1 TO EP: READ X(I),Y(I),Z(I):NEXT I
160       FOR I=1 TO AD: READ L(I)
170       FOR J=1 TO L(I) :READ K(I,J):NEXT J: NEXT I
180   REM ----------------------------------------------
190   REM        EINGABEFELD FUER BILDVERAENDERUNGEN
200   REM ----------------------------------------------
210       ALPHA=90      :REM DREHWINKEL 1
220       BETA=0        :REM DREHWINKEL 2
230       GAMMA=0       :REM DREHWINKEL 3
240       VX    =10     :REM VERSCHIEBUNG IN DER X-ACHSE
250       VY    =155    :REM VERSCHIEBUNG IN DER Y-ACHSE
260       VZ    =1      :REM VERSCHIEBUNG IN DER Z-ACHSE
270       OB    =4      :REM BILDWINKEL (OBJEKTIVBRENNWEITE)
280       G     =600    :REM ABBILDUNGSGROESSE
290   REM ----------------------------------------------
300   REM     BILDPHASENZAHL DES ANIMATIONSVORGANGES
310   REM ----------------------------------------------
```

```
315      GOSUB 2000
320      FOR GAMMA=0 TO 360 STEP 10 :REM  BILDPHASEN
330  REM ---------------------------------------------------
340  REM              UMRECHNUNG DER BILDPUNKTE
350  REM ---------------------------------------------------
355      GOSUB 2000
360      GOSUB 700
370      FOR I=1 TO EP
380      X=X(I): Y=Y(I): Z=Z(I)
390      GOSUB 800
400      BX(I)=BX: BY(I)=BY
410      NEXT I
420      FOR I= 1 TO AD
430      FOR J=1 TO L(I)-1
440      P1=BX(K(I,J)): P2=BY(K(I,J)): P3=BX(K(I,J+1))
450      P4=BY(K(I,J+1))
460      PLOT P1,P2,1: DRAW P3,P4
470      NEXT J,I
475      P3=P1:P4=P2
476      REM HIER DRUCKBEFEHL EINFUEGEN !
480      NEXT GAMMA:CLS:VZ=VZ+4
490      GOTO 320
700  REM ---------------------------------------------------
705      DEG
720      CA=COS(ALPHA):CB=COS(BETA):CC=COS(GAMMA)
730      SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
740      RETURN
800  REM ---------------------------------------------------
810  REM                  PUNKTABBILDUNGEN
820  REM ---------------------------------------------------
830      X1=X: Y1=CA*Y-SA*Z: Z1=SA*Y+CA*Z
840      X2=CB*X1-SB*Z1: Y2=Y1: Z2=SB*X1+CB*Z1
850      X3=CC*X2-SC*Y2: Y3=SC*X2+CC*Y2: Z3=Z2
860      X4=X3+VX: Y4=Y3+VY: Z4=Z3+VZ
870  REM ---------------------------------------------------
880  REM                PERSPEKTIVEBERECHNUNG
890  REM ---------------------------------------------------
900      U=-X4/Y4*G
910      V=-Z4/Y4*G
920  REM ---------------------------------------------------
930  REM        UMRECHNUNG AUF BILDSCHIRMKOORDINATEN
940  REM ---------------------------------------------------
950      BX=480+OB*U
960      BY=50-OB*V
970      RETURN
```



```
1000 REM ---------------------------------------------------
1010 REM                    ECKPUNKTDATEN
1020 REM ---------------------------------------------------
1030     DATA 0,-4,0, 7,-4,0, 5,-2,0, 14,-2,0, 18,-1,0, 20,0,0
1040     DATA 18,1,0, 14,2,0, 8,3,0, 4,6,0, 2,7,0, 1,9,0, 0,11,0
1125 REM 13 ECKPUNKTE
1130 REM ---------------------------------------------------
1140 REM                    LINIENDATEN
1150 REM ---------------------------------------------------
1160     DATA 5,1,2,3,4,5
1170     DATA 5,5,6,7,8,9
1180     DATA 5,9,10,11,12,13
1370 REM 3 DATENZEILEN FUER LINIEN
1500 REM ---------------------------------------------------
1510 REM                      KULISSE
1520 REM ---------------------------------------------------
2000     RESTORE 2070
2010     READ E,F
2020     PLOT E,F,2
2030     FOR I=2 TO 6
2040     READ E,F
2045     DRAW E,F,2
2050     NEXT I
2070     DATA 100,0,200,50,300,20,400,80,500,10,600,0
2080     RETURN
```

Listing 3.5

```
5    REM       ****      3D-ROTATIONSKOERPER      ****
10   REM ==============================================
20   REM            *****   UFO-START 2   *****
30   REM ==============================================
40       MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: BORDER 1:CLS:CLEAR
50       EP=19: AD=2
60       CLS
70   REM ---------------------------------------------------
80   REM            DIMENSIONIERUNG DER ARRAYS
90   REM ---------------------------------------------------
100      DIM X(EP),Y(EP),Z(EP)
110      DIM BX(EP),BY(EP)
120      DIM K(AD,10)
130      DIM X5(20,37),Y5(20,37),Z5(20,37)
140      DIM PX(40,19),PY(40,19)
150      DIM L(AD)
160      FOR I=1 TO EP: READ X(I),Y(I),Z(I):NEXT I
170      FOR I=1 TO AD: READ L(I)
180      FOR J=1 TO L(I) :READ K(I,J):NEXT J: NEXT I
```

```
190  REM ----------------------------------------------------
200  REM        EINGABEFELD FUER BILDVERAENDERUNGEN
210  REM ----------------------------------------------------
220      ALPHA=90      :REM DREHWINKEL 1
230      BETA=0        :REM DREHWINKEL 2
240      GAMMA=0       :REM DREHWINKEL 3
250      VX   =1       :REM VERSCHIEBUNG IN DER X-ACHSE
260      VY   =350     :REM VERSCHIEBUNG IN DER Y-ACHSE
270      VZ   =1       :REM VERSCHIEBUNG IN DER Z-ACHSE
280      OB   =8       :REM BILDWINKEL (OBJEKTIVBRENNWEITE)
290      G    =350     :REM ABBILDUNGSGROESSE
300  REM ----------------------------------------------------
310  REM     BILDPHASENZAHL DES ANIMATIONSVORGANGES
320  REM ----------------------------------------------------
330      FOR GAMMA=0 TO 360 STEP 30 :REM 36 SHAPES
340  REM ----------------------------------------------------
350  REM          UMRECHNUNG DER BILDPUNKTE
360  REM ----------------------------------------------------
370      GOSUB 510
380      FOR I=1 TO EP
390      X=X(I): Y=Y(I): Z=Z(I)
400      GOSUB 560
410      BX(I)=BX: BY(I)=BY
420      NEXT I
430      FOR I= 1 TO AD
440      FOR J=1 TO L(I)-1
450      P1=BX(K(I,J)): P2=BY(K(I,J)): P3=BX(K(I,J+1))
460      P4=BY(K(I,J+1))
470      PLOT P1,P2,1: DRAW P3,P4
480      NEXT J,I
500      NEXT GAMMA:GOTO 830
510  REM ----------------------------------------------------
520      DEG
530      CA=COS(ALPHA):CB=COS(BETA):CC=COS(GAMMA)
540      SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
550      RETURN
560  REM ----------------------------------------------------
570  REM                  PUNKTABBILDUNGEN
580  REM ----------------------------------------------------
590      X1=X: Y1=CA*Y-SA*Z: Z1=SA*Y+CA*Z
600      X2=CB*X1-SB*Z1: Y2=Y1: Z2=SB*X1+CB*Z1
610      X3=CC*X2-SC*Y2: Y3=SC*X2+CC*Y2: Z3=Z2
620      X4=X3+VX: Y4=Y3+VY: Z4=Z3+VZ
630      X5(I,GAMMA/10)=X3:Y5(I,GAMMA/10)=Y3:Z5(I,GAMMA/10)=Z3
640  REM ----------------------------------------------------
650  REM                PERSPEKTIVEBERECHNUNG
660  REM ----------------------------------------------------
670      U=-X4/Y4*G
680      V=-Z4/Y4*G
```



```
690  REM ----------------------------------------------------
700  REM       UMRECHNUNG AUF BILDSCHIRMKOORDINATEN
710  REM ----------------------------------------------------
720      BX=320+OB*U
730      BY=200-OB*V
740      RETURN
750  REM ----------------------------------------------------
760  REM                   ECKPUNKTDATEN
770  REM ----------------------------------------------------
780      DATA 0,9,0, 1,7,0, 2,6,0, 4,5,0, 5,4,0, 13,3,0, 16,2,0, 19,2,0
790      DATA 23,1,0, 25,0,0, 23,-1,0, 18,-2,0, 13,-3,0, 8,-4,0
800      DATA 7,-5,0,  6,-4,0, 6,-3,0, 2,-3,0, 0,-4,0
810      DATA 10,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
820      DATA 10,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19
825      REM ----------------------------------------------
826      REM          2. PROGRAMMABSCHNITT
827      REM ----------------------------------------------
830      FOR ALPHA=0 TO 360 STEP 30
840      FOR DELTA=0 TO 360 STEP 30
850      GOSUB 1020
860      FOR I=1 TO EP
870      X=X5(I,DELTA/10):Y=Y5(I,DELTA/10):Z=Z5(I,DELTA/10)
880      GOSUB 1060
890      PX(DELTA/10,I)=BX: PY(DELTA/10,I)=BY: NEXT I
900      NEXT DELTA: CLS
910      FOR DELTA=0 TO 360 STEP 30
920      FOR I=1 TO AD
930      FOR J=1 TO L(I)-1
940      P1=PX(DELTA/10,K(I,J)):P2=PY(DELTA/10,K(I,J))
950      P3=PX(DELTA/10,K(I,J+1)):P4=PY(DELTA/10,K(I,J+1))
960      IF DELTA/10+3>36 THEN 1000
970      P5=PX(DELTA/10+3,K(I,J+1)):P6=PY(DELTA/10+3,K(I,J+1))
980      PLOT P1,P2:DRAW P3,P4:DRAW P5,P6
990      NEXT J,I
1000     NEXT DELTA
1010     NEXT ALPHA:END
1020     DEG
1030     CA=COS(ALPHA):CB=COS(BETA):CC=COS(GAMMA)
1040     SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
1050     RETURN
1060     X1=X:Y1=CA*Y-SA*Z:Z1=SA*Y+CA*Z
1070     X2=CB*X1-SB*Z1:Y2=Y1:Z2=SB*X1+CB*Z1
1080     X3=CC*X2-SC*Y2:Y3=SC*X2+CC*Y2:Z3=Z2
1090     X4=X3+VX:Y4=Y3+VY:Z4=Z3+VZ
1100     U=-X4/Y4*G
1110     V=-Z4/Y4*G
1120     BX=320+OB*U
1130     BY=200-OB*V
1140     RETURN
```

Listing 3.6

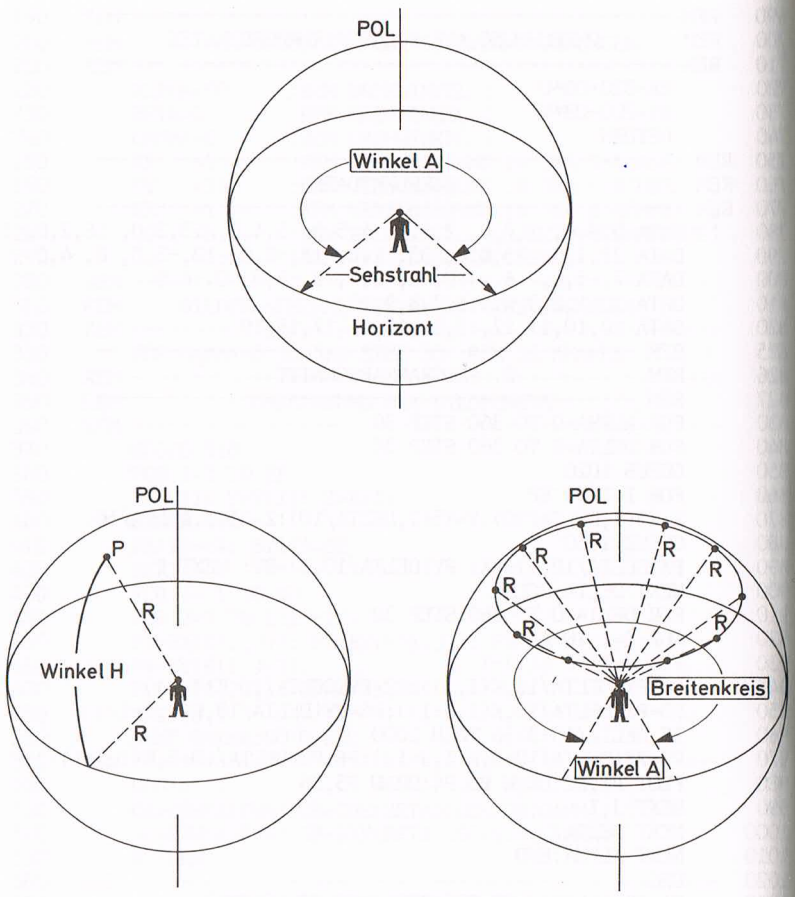


Bild 3.12 Winkelbeziehungen in einer Kugel

3.8 Kugeldarstellung

Zum besseren Verständnis der einzelnen Variablen und deren Winkelbeziehungen auf der Kugeloberfläche soll eine einfache Orientierungsskizze dienen (Bild 3.12).

Unser Standpunkt sei in der Kugelmitte. Über und unter uns befinden sich die Pole der Kugel. Blicken wir geradeaus, so sehen wir auf den Horizont, der aber gleichzeitig auch der Äquator der Kugel ist.

Drehen wir uns jetzt um unsere eigene Achse, bis wir unsere Ausgangsstellung wieder erreicht haben, so hat unser Sehstrahl einen Winkel von 360° des Horizontes oder Äquators bestrichen. In unserem Programm «Superkugel» erscheint dieser Winkel als Variable A (Äquator).

In unserer Ausgangsstellung richten wir nunmehr den Blick schräg nach oben. Unser Sehstrahl bildet mit der Horizontebene nun den Winkel H (Höhe). Durchstößt unser Sehstrahl die Kugel an einem bestimmten Punkt schräg über uns, so ist er einen Kugelradius R von uns entfernt.

Mit den Winkeln A und H sowie dem Radius R läßt sich die Lage eines jeden Kugelpunktes eindeutig definieren. Damit ist es auch möglich, auf der Kugel Objekte darzustellen oder ein Gradnetz um die Kugel zu legen.

Wir nehmen wieder unsere Ausgangsposition ein. Der Sehstrahl ist schräg nach oben gerichtet, etwa um den Winkel 30° (H = 30). Im Abstand von R berührt unser Sehstrahl die Kugeloberfläche. Drehen wir uns nun um unsere eigene Achse, beschreibt unser Sehstrahl auf der Kugeloberfläche eine Kreislinie, oder genauer einen Breitengrad. Dabei bemerken wir, daß der Winkel H konstant 30° geblieben ist. Lediglich der Winkel A ist von 0° bis 360° verändert worden.

Programmiersprachlich würde das also bedeuten, daß wir H als festen Wert eingeben und den Winkel A in einer Schleife von 0 bis 360 laufen lassen. In dieser Weise ist das Kugelprogramm

aufgebaut, wobei die Koordinaten eines Kugelpunktes über seine Winkelfunktionen gegeben sind. Durch verschiedene STEP-Weiten in den Schleifen läßt sich die Maschenweite des Gradnetzes beeinflussen.

3.9 Kugelprogramm

Das folgende Kugelprogramm bildet eine Kugel räumlich ab. Es verzichtet zunächst auf Animation. Die Drehwinkel sind durch Festwerte W1, W2, W3 definiert (Listing 3.7).

Das Programm «Superkugel» verfügt zusätzlich über einen Animationsteil, mit dem die Kugel gedreht, geneigt oder verschoben werden kann (Bild 3.13).

Programmoptionen des Programms «Superkugel»:

1. Generieren einer Kugel, Halbkugel, Viertelkugel, eines Kugelgürtels (Beeinflussung der Schleifenwerte)
2. Veränderung der Maschenweite des Gradnetzes (Beeinflussung der STEP-Werte in den Schleifen)
3. Rotationen um die Achsen (Verändern der Winkel W1, W2, W3).
4. Vergrößern/Verkleinern der Kugel (Verändern des Kugelradius KR)
5. Verschieben der Kugel (Verändern der Variablen KX, KY)
6. Rotationsrichtung (Vorzeichenänderung in der Rotationsmatrix)
7. Mehrfachbewegungen gleichzeitig (Einfügen von iterativen Schleifen)


```
10  REM ----------------------------------------
20  REM        ***      KUGEL        ***
30  REM ----------------------------------------
40   MODE 1:INK 0,0:INK 1,24:INK 2,6
50   DEG
60   W1=10:  W2=0:  W3=80: R=150
70  REM ---------- LAENGENKREISE ----------------
80   FOR A=0 TO 180 STEP 15
90   GOSUB 270:P1=BX:P2=BY
100  FOR H=0 TO 360 STEP 15
110  GOSUB 270
120  P3=BX:P4=BY:
130  PLOT P1,P2:DRAW P3,P4,1
140  P1=P3:P2=P4
150  PLOT BX,BY
160  NEXT H,A
170 REM ----------- BREITENKREISE ---------------
180  FOR H=-90 TO 90 STEP 15
190  A=0
200  GOSUB 270:P1=BX:P2=BY
210  FOR A=0 TO 360 STEP 15
220  GOSUB 270
230  P3=BX:P4=BY
240  PLOT P1,P2:DRAW P3,P4,2
250  P1=P3:P2=P4
260  NEXT A,H: END
270  REM --------- ROTATIONSMATRIX --------------
280  X=COS(H)*COS(A)
290  Y=COS(H)*SIN(A)
300  Z=SIN(H)
310  A(1)=COS(W2)*COS(W3)
320  A(2)=-COS(W2)*SIN(W3)
330  A(3)=SIN(W2)
340  A(4)=COS(W1)*SIN(W3)+SIN(W1)*SIN(W2)*COS(W3)
350  A(5)=COS(W1)*COS(W3)-SIN(W1)*SIN(W2)*SIN(W3)
360  A(6)=-SIN(W1)*COS(W2)
370  A(7)=SIN(W1)*SIN(W3)-COS(W1)*SIN(W2)*COS(W3)
380  A(8)=SIN(W1)*COS(W3)+COS(W1)*SIN(W2)*SIN(W3)
390  A(9)=COS(W1)*COS(W2)
400  XA=A(1)*X+A(2)*Y+A(3)*Z
410  YA=A(4)*X+A(5)*Y+A(6)*Z
420  ZA=A(7)*X+A(8)*Y+A(9)*Z
430  BX=320+R*XA :BY=200+R*ZA
440  RETURN
```

Listing 3.7

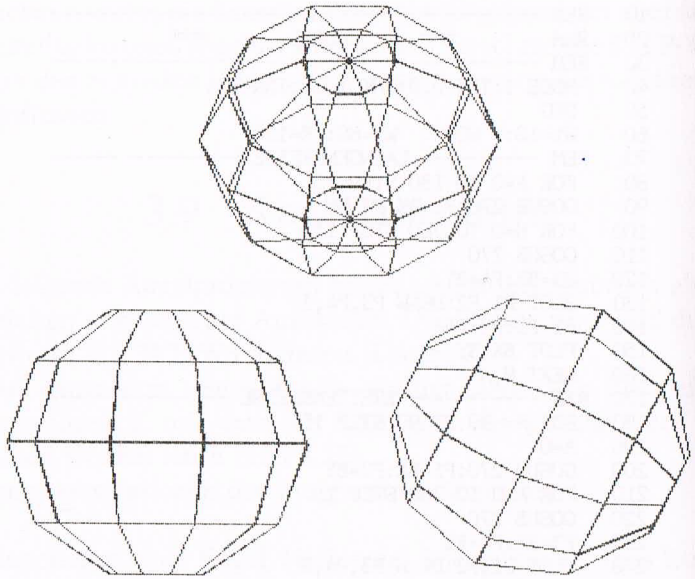


Bild 3.13 Kippen, Rotieren und Neigen der Kugel durch Parameterbeeinflussung (W1, W2, W3)

```
20   REM ----------------------------------------
30   REM          *** SUPERKUGEL      ***
40   REM ----------------------------------------
50   MODE 1:INK 0,0:BORDER 3
60   INK 1,26:INK 2,2:INK 3,11
70   DEG
80   REM ----------------------------------------
90   REM ------------- EINGABEFELD ----------------
100   REM ----------------------------------------
130   W1=0          :REM WINKEL1
140   W2=0          :REM WINKEL2
150   W3=5          :REM WINKEL3
170   KR=180        :REM KUGELRADIUS
180   KX=320        :REM KUGELMITTELPUNKT X
190   KY=200        :REM      "       "   Y
200   REM ----------------------------------------
210   REM    ----- HAUPTPHASENSCHLEIFE ------
220   REM ----------------------------------------
230   FOR W1=0 TO 180 STEP 30
```



```
290   REM ----------------------------------------
300   REM --------- KUGELDARSTELLUNG --------------
301   A(1)=COS(W2)*COS(W3)
302   A(2)=-COS(W2)*SIN(W3)
303   A(3)=SIN(W2)
304   A(4)=COS(W1)*SIN(W3)+SIN(W1)*SIN(W2)*COS(W3)
305   A(5)=COS(W1)*COS(W3)-SIN(W1)*SIN(W2)*SIN(W3)
306   A(6)=-SIN(W1)*COS(W2)
307   A(7)=SIN(W1)*SIN(W3)-COS(W1)*SIN(W2)*COS(W3)
308   A(8)=SIN(W1)*COS(W3)+COS(W1)*SIN(W2)*SIN(W3)
309   A(9)=COS(W1)*COS(W2)
310   REM ----------------------------------------
315   REM ----------- LAENGENKREISE ---------------
318   H=0
320   FOR A=0 TO 180 STEP 15
330   GOSUB 770:P1=CX:P2=CY
340   FOR H=0 TO 360 STEP 15
350   GOSUB 770
360   P3=CX:P4=CY:
370   PLOT P1,P2,2:DRAW P3,P4,2
380   P1=P3:P2=P4
390   NEXT H,A
400   REM ----------- BREITENKREISE ---------------
405   A=0
410   FOR H=-90 TO 90 STEP 15
430   GOSUB 770:P1=CX:P2=CY
440   FOR A=0 TO 360 STEP 15
450   GOSUB 770
460   P3=CX:P4=CY
470   PLOT P1,P2,3:DRAW P3,P4,3
480   P1=P3:P2=P4
490   NEXT A,H
722   FOR I= 1 TO 1000:NEXT
725   REM HIER DRUCKBEFEHL EINFUEGEN !
730   CLS
740   NEXT W1:REM ENDE HAUPTSCHLEIFE
750   END
760   REM ----------------------------------------
770   REM --------- ROTATIONSMATRIX ---------------
780   X=COS(H)*COS(A)
790   Y=COS(H)*SIN(A)
800   Z=SIN(H)
900   XA=A(1)*X+A(2)*Y+A(3)*Z
910   YA=A(4)*X+A(5)*Y+A(6)*Z
920   ZA=A(7)*X+A(8)*Y+A(9)*Z
940   CX=KX+KR*XA:CY=KY+KR*ZA :REM BILDPUNKTE KUGEL
950   RETURN
```

Listing 3.8

3.10 Grafik auf der Kugel

Sphärische Bildelemente auf einer Kugel müssen in ähnlicher Weise entworfen werden wie die herkömmlichen 3D-Objekte. Voraussetzung ist auch hierbei eine Entwurfsmatrix, in der die Bildpunkte und Linien des Objekts bestimmbar sind.

Die gewandelten Ausgangsbedingungen führen zu einer unterschiedlichen Arbeitsweise. Beabsichtigt man, Flächen auf der Kugeloberfläche darzustellen, so ist das infolge der sphärischen Beschaffenheit der Kugel nicht ohne weiteres möglich. Die Kartografie bedient sich bestimmter Methoden, um eine Kugeloberfläche in der Ebene darzustellen. Diese Methoden sind im weitesten Sinne Projektionen der Kugeloberfläche auf eine an die Kugel angelegte ebene oder gewölbte Fläche. Die bekannteste dürfte die zylindrische Mercatorprojektion sein. Dabei wird über die Kugel ein Zylinder gestülpt, auf den die Kugelorte dann projiziert werden. Trennt man den Zylinder auf und legt die Abwicklung flach aus, erhält man eine zweidimensionale Darstellung der Kugeloberfläche, in den meisten Fällen als Landkarte.

Wir gehen in ähnlicher Weise vor, nur daß der Arbeitsprozeß in umgekehrter Weise abläuft. Auf eine Fläche werden Objekte mit sphärischen Koordinaten aufgetragen, die anschließend vom Programm in eine sphärische Darstellung umgerechnet werden.

Die Entwurfsmatrix hat eine andere Aufteilung als die gewohnten 3D-Matrizen (Bild 3.14). Die Aufteilung der Matrix erfolgt in Grad, entsprechend der Kugeloberfläche. Die Mittellinie der Matrix wird durch den Äquator gebildet. Sie ist die waagerechte Nullinie. Nach oben und unten folgen parallele Linien von 0 bis 90 Grad und von 0 bis −90 Grad. Diese Linien stellen die Breitengrade der Kugel dar. Den linken Rand der Matrix bildet der Längengrad 0, den rechten Rand der Längengrad 359.

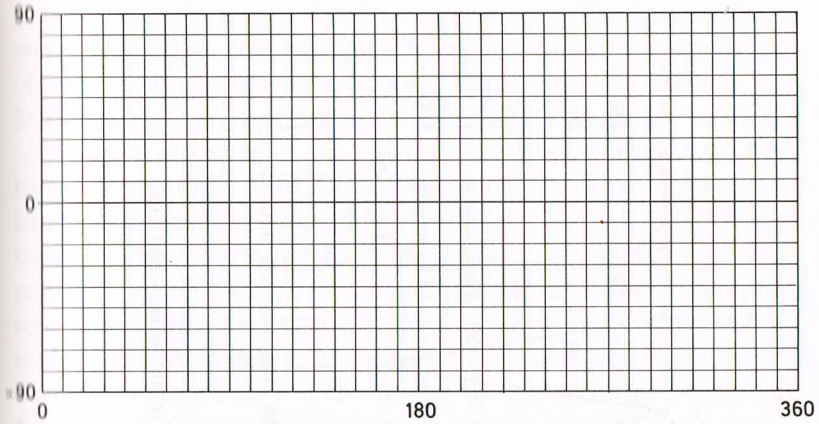


Bild 3.14 Entwurfsmatrix für sphärische Objekte

Wie fein die Matrix aufgeteilt werden soll, hängt von der Objektdarstellung ab. Für einfache Objekte genügt eine Teilung von 5 Grad oder 10 Grad Maschenweite. In dieser Matrix wird nun das Objekt längentreu, also unverzerrt, entworfen. Eine gerade senkrechte Linie darf keineswegs nur durch zwei Eckpunkte gezogen werden. Sie würde sonst eine Sehne innerhalb der Kugel bilden und somit nicht der Kugeloberfläche als Bogen folgen. Vielmehr müssen durch mehrere Eckpunkte in der Linie kleinere Sehnenteilstücke gebildet werden, damit die Darstellung sich einem Kreisbogen nähert. Die waagerechten Linien müssen in gleicher Weise dargestellt werden.

Werden solchermaßen definierte Objekte zur Ausgabe gebracht, verblüfft zunächst die Tatsache, daß ursprünglich parallele Linien in der Entwurfsmatrix nunmehr aufeinander zustreben, daß im Extremfall ein Rechteck zum Kugeldreieck werden kann (Rechteck mit 90 Grad Höhe, vom Äquator ausgehend). Die Spitze dieses Kugeldreiecks liegt dann auf dem Nordpol.

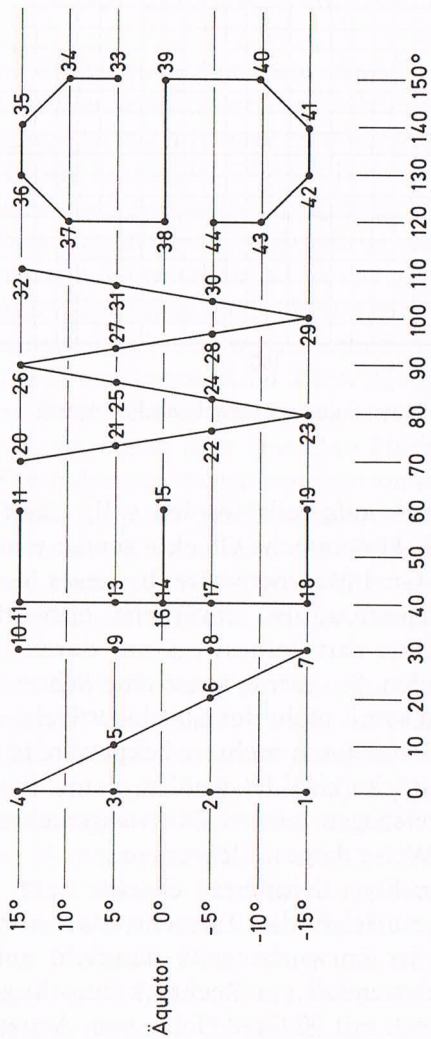


Bild 3.15 Anordnung des Kugelschriftzuges «NEWS» in der sphärischen Entwurfsmatrix

Mit der Veränderung des Radius kann das Objekt vergrößert werden. Es kann also ein Kugelschriftzug direkt auf der Kugeloberfläche umlaufen oder durch Verändern des Radius der Schriftdarstellung von der Kugeloberfläche abgehoben werden.

Das Entwurfsbeispiel des Schriftzuges «News» macht die Verhältnisse deutlich (Bild 3.15). Kugel und Objekt können unabhängig voneinander bewegt oder verändert werden. Als Animationswerkzeug dient die Hauptphasenschleife. Wie im 3D-Programm können weitere iterative Schleifen in dieser Hauptphasenschleife mit beeinflußt werden. Durch die Hauptphasenschleife kommen echte Drehungen der Gradnetzgloben und der Objekte zustande und nicht nur ein Pseudo-Animationseffekt durch Umschaltung zwischen zwei Phasen, was letztlich nur zu einem Flimmern auf der Stelle führt.

Die Bildaufbauzeiten sind recht lang, so daß für die Bildausgabe mit Wartezeiten zu rechnen ist. Das vorliegende Programm wurde mehrfarbig angelegt, damit sich Schrift und Globus deutlich voneinander abheben.

Programmoptionen «Superkugel»:

1. Generieren des Gradnetzglobus (Halbkugel, Viertelkugel, Gürtel)
2. Verändern der Maschenweite des Gradnetzes
3. Rotation der Kugel um die Pole
4. Neigen der Kugelachse (rechts, links)
5. Kippen der Kugel (Polaufsicht)
6. Verschieben der Kugel (oben, unten, diagonal)
7. Verkleinern/Vergrößern der Kugel

«Sphärische Animation»

1. Alle Operationen des Programms «Superkugel»
2. Definition beliebiger Flächen auf der Kugel
3. Definition beliebiger sphärischer Objekte innerhalb und außerhalb der Kugel umlaufend

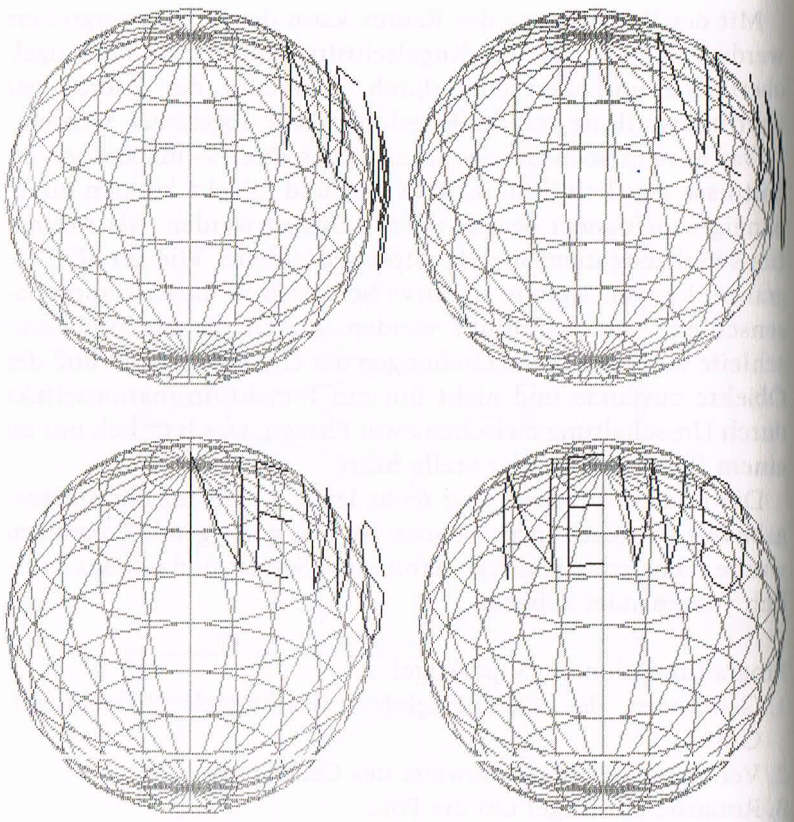


Bild 3.16 Der Schriftzug rotiert um die Kugel auf einer separaten Kugelschale mit größerem Radius.

```
20   REM ------------------------------------------
30   REM    *** KUGEL mit umlaufender Schrift  ***
40   REM ------------------------------------------
50   MODE 1:INK 0,0:BORDER 3
60   INK 1,26:INK 2,2:INK 3,11
70   DEG
80   REM ------------------------------------------
90   REM ------------- EINGABEFELD -----------------
```



```
100  REM ------------------------------------------
110  MX=320      :REM SCHRIFTMITTELPUNKT X
120  MY=200      :REM      "       "     Y
130  W1=-30      :REM WINKEL1 SCHRIFT
140  W2=0        :REM WINKEL2 SCHRIFT
150  W3=0        :REM WINKEL3 SCHRIFT
160  R=220       :REM SCHRIFTRADIUS
170  KR=180      :REM KUGELRADIUS
180  KX=320      :REM KUGELMITTELPUNKT X
190  KY=200      :REM      "       "   Y
200  REM ------------------------------------------
210  REM    ----- HAUPTPHASENSCHLEIFE ------
220  REM ------------------------------------------
230  FOR W3=300 TO -90 STEP -30
290  REM ------------------------------------------
300  REM --------- KUGELDARSTELLUNG ---------------
301  A(1)=COS(W2)*COS(W3)
302  A(2)=-COS(W2)*SIN(W3)
303  A(3)=SIN(W2)
304  A(4)=COS(W1)*SIN(W3)+SIN(W1)*SIN(W2)*COS(W3)
305  A(5)=COS(W1)*COS(W3)-SIN(W1)*SIN(W2)*SIN(W3)
306  A(6)=-SIN(W1)*COS(W2)
307  A(7)=SIN(W1)*SIN(W3)-COS(W1)*SIN(W2)*COS(W3)
308  A(8)=SIN(W1)*COS(W3)+COS(W1)*SIN(W2)*SIN(W3)
309  A(9)=COS(W1)*COS(W2)
310  REM ------------------------------------------
315  REM ----------- LAENGENKREISE ---------------
320  FOR A=0 TO 180 STEP 15
330  GOSUB 770:P1=CX:P2=CY
340  FOR H=0 TO 360 STEP 15
350  GOSUB 770
360  P3=CX:P4=CY:
370  PLOT P1,P2,2:DRAW P3,P4,2
380  P1=P3:P2=P4
390  NEXT H,A
400  REM ----------- BREITENKREISE ---------------
410  FOR H=-90 TO 90 STEP 15
420  A=0
430  GOSUB 770:P1=CX:P2=CY
440  FOR A=0 TO 360 STEP 15
450  GOSUB 770
460  P3=CX:P4=CY
470  PLOT P1,P2,3:DRAW P3,P4,3
480  P1=P3:P2=P4
490  NEXT A,H
500  RESTORE
510  REM ---- BUCHSTABE "N" ----------------------
520  READ A,H:GOSUB 770
```

```
530   PLOT BX,BY,2
540   FOR D=2 TO 10
550   READ A,H:GOSUB 770
560   DRAW BX,BY,1 :NEXT D
570   REM ---- BUCHSTABE "E" ----------------------
580   READ A,H:GOSUB 770
590   PLOT BX,BY
600   FOR D=12 TO 19: READ A,H
610   GOSUB 770
620   DRAW BX,BY,1: NEXT D
630   REM ---- BUCHSTABE "W" ----------------------
640   READ A,H: GOSUB 770
650   PLOT BX,BY
660   FOR D=20 TO 31:READ A,H
670   GOSUB 770:DRAW BX,BY,1: NEXT D
680   REM ---- BUCHSTABE "S" ----------------------
690   READ A,H:GOSUB 770
700   PLOT BX,BY
710   FOR D=33 TO 43:READ A,H
720   GOSUB 770:DRAW BX,BY,1:NEXT D
722   FOR I= 1 TO 1000:NEXT
725   REM HIER DRUCKBEFEHL EINFUEGEN !
730   CLS
740   NEXT W3
750   END
760   REM ----------------------------------------
770   REM --------- ROTATIONSMATRIX --------------
780   X=COS(H)*COS(A)
790   Y=COS(H)*SIN(A)
800   Z=SIN(H)
900   XA=A(1)*X+A(2)*Y+A(3)*Z
910   YA=A(4)*X+A(5)*Y+A(6)*Z
920   ZA=A(7)*X+A(8)*Y+A(9)*Z
930   BX=MX+R*XA: BY=MY+R*ZA :REM BILDPUNKTE SCHRIFT
940   CX=KX+KR*XA:CY=KY+KR*ZA :REM BILDPUNKTE KUGEL
950   RETURN
960   REM --- OBJEKTDATEN SCHRIFT ----------------
970   DATA 0,-15,0,-5,0,5,0,15,4,5
980   DATA 7.5,-5,15,-15,15,-5,15,5
990   DATA 15,15
1000   DATA 30,15,20,15,20,5,20,0,30,0
1010   DATA 20,0,20,-5,20,-15,30,-15
1020   DATA 35,15,36,5,38,-5,40,-15
1030   DATA 42,-5,44,5,45,15,46,5,48,-5
1040   DATA 50,-15,52,-5,54,5,55,15
1050   DATA 75,5,75,10,70,15,65,15,60,10
1060   DATA 60,0,75,0,75,-10,70,-15
1070   DATA 65,-15,60,-10,60,-5
```

Listing 3.9

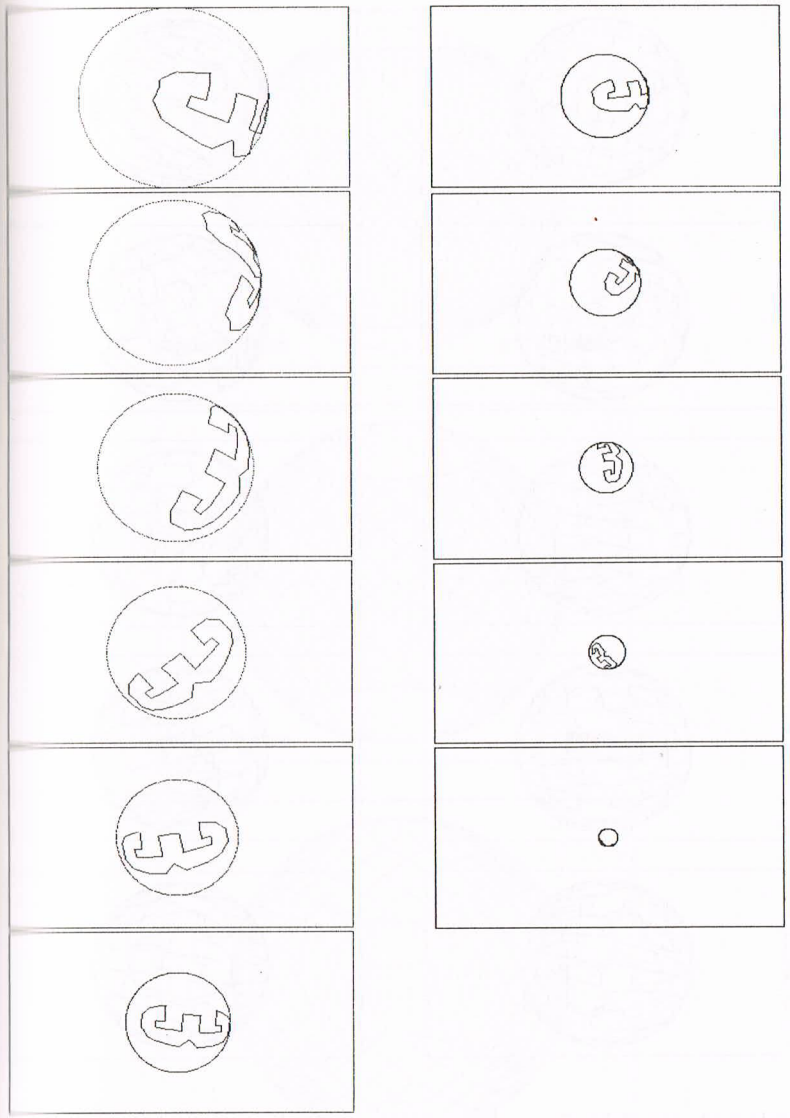


Bild 3.17 Das Gradnetz der Kugel ist hier fortgelassen, die Kugel wird nur noch durch einen Kreis angedeutet. Sphärische Objekte erscheinen in dieser Darstellungsweise noch prägnanter.

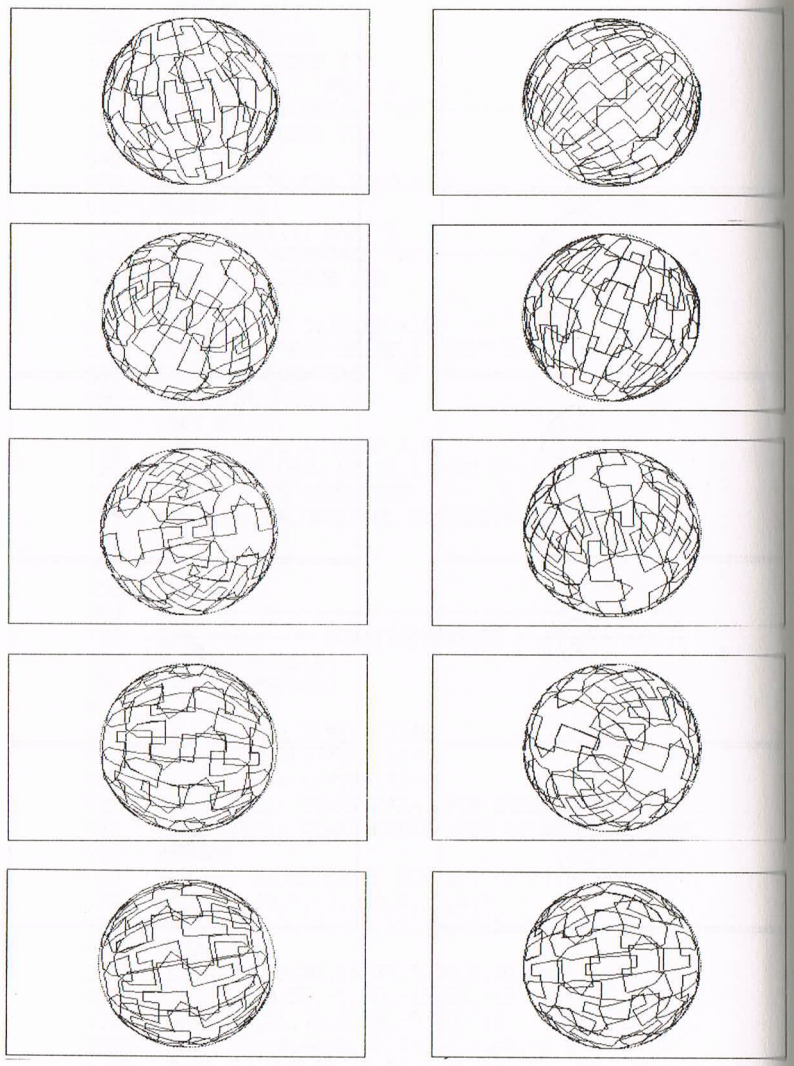
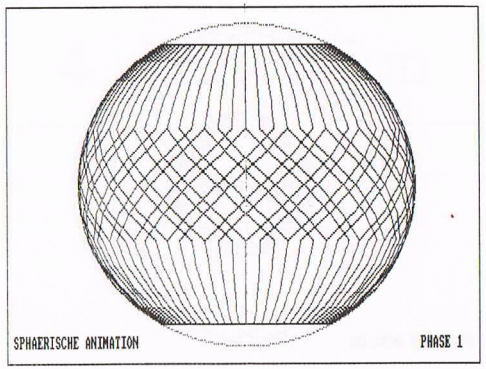
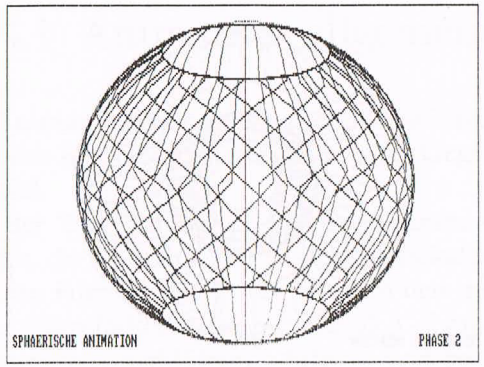
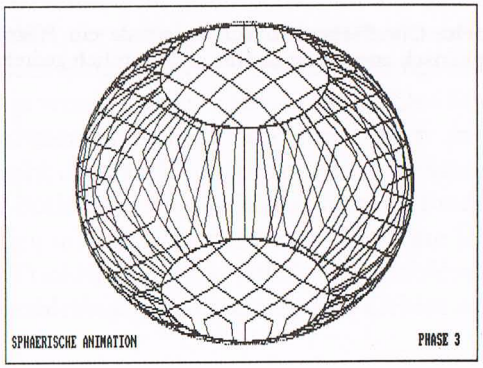
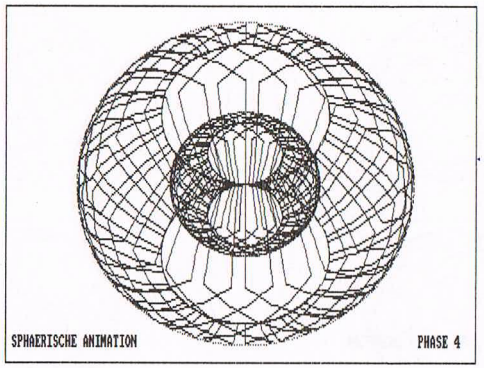


Bild 3.18 Die Zahl «3» wurde mit kleiner STEP-Weite ineinandergeschrieben. Es entstehen stark ornamental wirkende Oberflächenstrukturen.









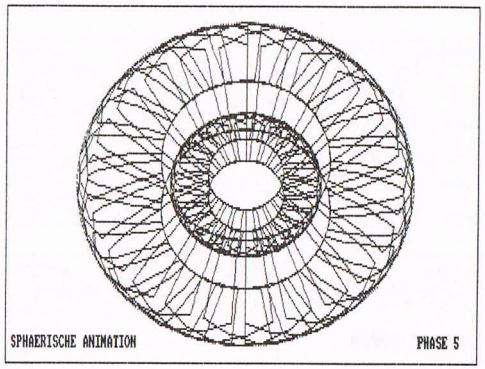


Bild 3.19 Gezielte Oberflächenstruktur. Es wurde ein 8förmiges Ornament sphärisch aneinandergereiht und räumlich gedreht.

4 Animation

4.1 Animation allgemein

Der Begriff Animation stammt aus den frühen Tagen des Films. Es bedeutet das Beseelen oder Beleben toter Gegenstände (lat. anima = Seele).

Im Laufe der Zeit hat sich eine eigene Animationstechnik herausgebildet, die auch zur Darstellung physikalisch unmöglicher Effekte im Film herangezogen wird. In den meisten Fällen wird von der Einzelbild-Aufnahmetechnik Gebrauch gemacht. Dadurch lassen sich verblüffende Effekte und beeindruckende Bildsequenzen herstellen. Viele Zuschauer begeistern sich für utopische Bilder oder verfolgen die Abenteuer gezeichneter Figuren mit großem Beifall. Über die Herstellung solcher Filmsequenzen dringt wenig an die Öffentlichkeit. Das liegt zum einen an der komplizierten Aufnahmetechnik, zum anderen an der geringen Anzahl der Trickfilmspezialisten. Es hätte auch wenig Sinn, aus der Fülle der technischen Arbeitsmethoden nur einige herauszugreifen und zu kommentieren. Erst eine Übersicht über die gesamte Trickfilmtechnik würde die Problematik deutlich machen. So verbleibt dieses faszinierende Gebiet weitgehend im dunkeln.

Im Animationsfilm geht jedoch alles nach streng physikalischen Gesetzmäßigkeiten vor sich. Bewegungsabläufe werden in einzelne Bewegungsphasen zerlegt, einzelbildweise aufgenommen und als filmische Aufzeichnung schnell vorgeführt. Daß zwischen den Einzelbildern jeweils Manipulationen im Bild vorgenommen worden sind, läßt sich anschließend nicht mehr erkennen, und die gewünschte Illusion ist erreicht.

Zum Erzielen naturalistisch wirkender Bildvorgänge müssen die physikalischen Gegebenheiten von Bewegungsabläufen entsprechend beachtet werden. Gegenstände, die der Massenträgheit unterworfen sind, müssen in entsprechender Weise animiert werden, um der Realität möglichst nahezukommen. Werden hier Fehler gemacht, erkennt der Zuschauer an ruckhaften oder ungleichmäßigen Bewegungen den Trick. Erst wenn die Trickfilmsequenz völlig realistisch wirkt, kann die Animation als perfekt gelten. Bei langsamen Bewegungsabläufen ist es am schwersten, einen fließenden Bewegungsablauf zu erzielen, weil der Abstand zwischen den Bewegungsphasen immer kleiner wird. Hier stößt man schnell an die Grenze handwerklicher Arbeit.

Ein besonderes Aufgabengebiet im Trickfilm ist die Herstellung von Ringphasen. Das sind periodisch wiederkehrende Bewegungsabläufe, wie etwa fallende Regentropfen, kreisende Räder oder umlaufende Lichter einer Werbetafel. Der Bewegungsvorgang wird in eine genehme Anzahl von Bewegungsphasen unterteilt und unter Berücksichtigung der Passergenauigkeit auf Einzelblätter gezeichnet. Diese Einzelphasen werden dann in laufender Reihenfolge unter die Kamera gebracht und beliebig oft wiederholt. Hierdurch entstehen dann Ringphasen. Somit lassen sich auch längere Bildsequenzen mit nur einem Phasensatz äußerst wirtschaftlich herstellen.

Je länger die Ringphase ausgelegt wird und je komplexer der Bildinhalt wird, um so schwieriger ist die zeichnerische Darstellung. Soll ein dreidimensionales Objekt in Rotation versetzt

werden, müßten die Einzelphasen nach den Gesetzen der Perspektive konstruiert werden – ein Aufwand, der recht hoch wäre. Zur Vereinfachung der Problematik bieten sich Lösungen über eine Computeranimation geradezu an.

Die Computeranimation dringt in Bereiche vor, die bisher aufgrund ihrer handwerklichen Komponente nicht mehr zu erreichen waren. Eine filmische Ringphase aus 250 Einzelphasen mit nur geringfügigen Veränderungen von Bild zu Bild ist technisch nicht mehr durchführbar, wenn man handwerkliche Methoden einsetzen muß.

In diesem Bereich schafft die Computeranimation völlig neue Gegebenheiten. Es können beliebig kleine Bildveränderungen von Bildphase zu Bildphase vorgenommen werden, ohne daß die Genauigkeit der Darstellung darunter leidet. Es können Bewegungsabläufe erstellt werden, die vorher undenkbar waren, beispielsweise rotierende Schriften, gewellte Oberflächen und Darstellungen auf einer Kugeloberfläche.

Somit wird sich die Computeranimation als neues Gestaltungsmittel einführen. Die nahezu grenzenlosen Möglichkeiten des Designs können in diesem Buch naturgemäß nicht erschöpfend behandelt werden. Zum anderen wird jeder Anwender sein spezielles Designproblem in den Vordergrund stellen, so daß eine strukturelle Überschau über einzelne Sachgebiete das Gegebene sein wird.

Die Darstellung der Computeranimation umfaßt einen weiten Rahmen. Innerhalb dieses Rahmens können sowohl Minimal- als auch Maximalforderungen die Bildgestaltung bestimmen. Die Maximalforderungen, wie sie in der neueren Filmtechnik gestellt werden, sind nur über einen gewaltigen Aufwand an Rechengeschwindigkeit, Speicherplatz und entsprechender Software erreichbar. In diesen Fällen bleiben dann auch kaum noch Wünsche offen. Die naturalistische Darstellung von Objekten in Bewegung überwindet das Kernproblem der Animationstechnik, die Schwerkraft. Jedes Objekt kann schwebend durch endlose

Räume gleiten, eine Eigenschaft, die mit herkömmlicher Filmtechnik im aufwendigen Travelling-Matte-Verfahren realisiert werden mußte. Leider liegen die Kosten für diese Maximalansprüche zur Zeit in Millionen-Dollar-Höhe – eine Tatsache, die uns zwingend zu den Minimalansprüchen zurückführt.

In der professionellen Computeranimation werden die grundlegenden Bewegungsabläufe anhand von Drahtmodellen der Objekte, sogenannten Primitives, untersucht. Hier werden kleinere Rechner herangezogen, damit die großen Rechner für die Herstellung der endgültigen Fassungen freibleiben. Diese Darstellung mit Hilfe von Drahtmodellen wird mit den gleichen Algorithmen erreicht, die in diesem Buch Verwendung finden. Damit ist der eher experimentelle Charakter der vorliegenden Programme hinreichend begründet. Eine weitere Stufe der Computergrafik ist die Hidden-line-Technik. Sie ermöglicht es, nicht sichtbare Linien im Drahtmodell auszusparen. Hierdurch werden die Objekte in ihrem Erscheinungsbild klarer und übersichtlicher als beim reinen Drahtmodell. Beschränkt man sich auf eine Ansicht des Objekts, ist die Hidden-line-Technik nicht sehr aufwendig. Die Problematik vervielfacht sich jedoch, wenn die Objekte in Bewegung dargestellt werden sollen.

Es erscheint daher zweckmäßig, solche aufwendigen Techniken zugunsten einer besseren Verständlichkeit der Gesamtproblematik zunächst auszusparen. Eine methodische Auflistung der Animationsvorgänge soll auch dazu beitragen, möglichst alle wesentlichen Operationen der Computeranimation aufzuzeigen. Dabei soll von den gesicherten Erkenntnissen der filmischen Animation ausgegangen werden und, soweit dies möglich ist, auch von deren Terminologie.

4.2 Standardoperationen der Animationstechnik

Es wird grundsätzlich eine Einzelbildtechnik vorausgesetzt. Eine Folge von Einzelbildern in schneller Vorführung liefert Animationssequenzen. Hierdurch unterscheiden sich die filmische Animation und die Computeranimation nicht voneinander. Eine Gegenüberstellung beider Sachgebiete zeigt die weitgehende Übereinstimmung auf.

Computeranimation	*Animationsfilm*
Verschieben links – rechts	= West-Ost-Fahrt
Verschieben oben – unten	= Nord-Süd-Fahrt
Verschieben diagonal	= Diagonalfahrt
Verkleinern	= Wegfahrt
Vergrößern	= Heranfahrt
Rotieren	= Rotation
Bildphasen	= Einzelphasen
Bildphasenfolge, umlaufend	= Ringphasen
Kombinierte Bewegungsabläufe	= Filmograph
Beschleunigt-verzögerte Bewegungsabläufe	= Beschleunigt-verzögerte Bewegungsabläufe

Diese Aufstellung macht deutlich, daß die grundsätzlichen Arbeitsvorgänge gleich sind. Die Computeranimation bietet jedoch wesentlich mehr Vorteile zur Beeinflussung und Darstellung der Bildphasen. Zwei Beispiele sollen dies deutlich machen:

Beispiel 1: Ein Objekt soll sich phasenweise drehen.

Lösung in Computeranimation: Definition des Objekts (einmalig), Gewinnen der Bewegungsphasen über eine Schleifenoperation beliebiger Größe. Vorgang automatisiert.

Lösung in filmischer Animation: Zeichnen aller Einzelphasen(!) des Objekts. Wiederholtes zyklisches Auflegen der Einzelphasen unter der Kamera. Vorgang manuell.

Zusätzliche Vorteile der Computeranimation: Das Objekt kann durch Ändern einer Variablen vergrößert oder verkleinert werden. Die filmische Zeichentrickvorlage ist nicht manipulierbar.

Beispiel 2: Ein Objekt bewegt sich über den Bildschirm (Leinwand).

Lösung in Computeranimation: Definition des Objekts (einmalig), Gewinnen der Einzelphasenpositionen über eine Schleifenoperation beliebiger Größe. Vorgang automatisiert.

Lösung in filmischer Animation: Zeichnen des Objekts. Durchführen einer West-Ost-Fahrt am Tricktisch. Vorgang manuell.

Hierbei wurden nur die Arbeitsvorgänge miteinander verglichen. Für Entwurfsarbeiten ist die Computeranimation zudem schneller und kostengünstiger, weil der fotochemische Prozeß entfällt.

Um Bewegungsabläufe fließend darzustellen ist jedoch in der Computeranimation ein Rechneraufwand von einiger Größe zu betreiben. Es wird daher meist bei einer eingeschränkten Animation bleiben, wenn man gewisse Routinen nicht von vornherein in Maschinensprache schreibt oder das BASIC-Programm kompiliert.

Als kostengünstige Alternative zur Echtzeit-Computeranimation bietet sich jedoch wieder der Film an. Hierbei entfallen die Nachteile der filmischen Arbeitsvorgänge, denn es müssen lediglich Aufzeichnungen der Bildschirmphasen vorgenommen werden. Dieser Arbeitsprozeß kann jedoch vollautomatisch erfolgen. Eine weitere Verbesserung der Bildaufzeichnung bietet die in jüngster Zeit entwickelte Laserbildplatte. Sie läßt ebenfalls Einzelbildaufnahmen zu und kann die Sequenzen in beliebiger Reihenfolge oder in beliebigen zeitlichen Schritten sichtbar werden lassen. Sie vermeidet die Nachteile der Videoaufzeichnung, die streng sequenziell determiniert ist, ein Vertauschen der Einzelbilder daher nicht zuläßt. Für die experimentelle Animation ist dieser Vorzug eine zugriffsfreien Bildaufzeichnung allerdings sehr hoch einzuschätzen. Die Verwaltung der Einzelbilder kann dabei über einen Rechner vorgenommen werden, so daß aus einem gegebenen Bildvorrat beliebige Bildfolgen erstellt werden können. Bei der figürlichen Animation können die sogenannten Penciltests wesentlich rationeller vorgenommen werden, als es bei der filmischen Animation der Fall war. Penciltests dienten professionellen Animationsfilmstudios zur Optimierung von Bewegungsabläufen. Dabei wurden Bleistiftskizzen von Bewegungsabläufen einzelbildweise aufgenommen, um deren Wirkung einschätzen zu können. Erst nach diesen Tests wurden die Bildphasen zur Reinzeichnung gegeben. Nachteilig war, daß in Zweifelsfällen eine Bildsequenz mehrmals in verschiedenen Aufnahmemodi aufgenommen werden mußte, um die beste Wirkung empirisch zu ermitteln.

Für die filmische Aufzeichnung von Bildschirmereignissen bietet sich die Super-8-Filmtechnik als kostengünstigstes Medium an. Versuche dieser Art hat der Verfasser selbst durchgeführt und als durchaus akzeptabel empfunden (siehe auch Abschnitt 6.2 Filmaufzeichnung).

4.3 Iterative Schleifen

Iteration (lat. «Wiederholung») bezeichnet das schrittweise Rechenverfahren zur Annäherung an die Lösung einer Gleichung.

Eine der häufigsten BASIC-Operationen ist wohl die FOR-NEXT-Schleife. Von einem Anfangswert ausgehend, ermöglicht sie ein stufenweises Auf- oder Abwärtszählen bis zum gegebenen Endwert. Der Zählvorgang kann in eine Variable eingelesen

werden, deren Wert sich entsprechend verändert. Weiterhin kann die FOR-NEXT-Schleife so aufgetrennt werden, daß Ausführungsbefehle in die Schleife geschrieben werden können. Werden die Ausführungsbefehle mit den entsprechenden Variablen des Zählvorgangs versehen, so können entsprechende Ereignisse, etwa Bildschirmgrafik, hierdurch gesteuert werden. Als Programmierwerkzeug stellt die FOR-NEXT-Schleife eines der universellsten Mittel dar, um BASIC-Programme rationell zu schreiben.

Die FOR-NEXT-Schleife kann programmtechnisch durch eine iterative Schleife nachgebildet werden. Sie trägt alle Merkmale der FOR-NEXT-Schleife, allerdings in etwas abgewandelter Form. Die iterative Schleife hat etwas an Bedeutung verloren, weil die FOR-NEXT-Schleife die Programmierung eleganter vornimmt. Die iterative Schleife wiederholt also ständig eine Zähloperation, bis ein vorgegebener Endwert erreicht wird.

```
10  A=100                :REM Anfangswert
20  A=A+2                :REM STEP-Weite
30  IF A>200 THEN END    :REM Endwert 200
40  GOTO 20              :REM Schleifenbildung
```

Die Struktur der iterativen Schleife wird durch obenstehendes Beispiel deutlich. Die eingehende Behandlung dieser Programmiertechnik hat seinen Grund darin, daß in den Programmen dieses Buches häufig iterative Schleifen verwendet werden, ohne daß diese Tatsache sofort ins Auge springt.

Im 3D-Standardprogramm ist am Anfang ein Eingabefeld. Hier werden zunächst alle Variablen mit Anfangswerten versehen, die später in Schleifen verändert werden können. Sie bewirken dann entsprechende Objektbewegungen.

Für deren Ablauf ist die Hauptphasenschleife verantwortlich. Eine in diese übernommene Variable steuert damit eine einzelne Bildbewegung. Das kann eine Drehung, eine Verschiebung oder

eine Verkleinerung sein. Bei der Bildausgabe folgt das Objekt stetig der Variablenänderung.

Da das 3D-Standardprogramm möglichst vielseitig anwendbar sein soll, muß es auch mehrere Bewegungen gleichzeitig zulassen. Mit einer in die Hauptphasenschleife eingefügten iterativen Schleife ist dieser Forderung auf leichte Weise zu entsprechen.

Nehmen wir an, das Programm dreht das Objekt um den Winkel Alpha. Beabsichtigt ist eine gleichzeitige Drehung um den Winkel Beta. In die Hauptphasenschleife fügen wir ein:

```
325  Beta=Beta+10
```

Bei jedem Durchlauf der Hauptphasenschleife wird jetzt der Betawert um 10 erhöht. Da es sich um einen Winkel handelt, wird der Winkel jeweils um 10 Grad erhöht. Der Anfangswert der iterativen Betaschleife befindet sich bereits im Eingabefeld, so daß nur noch ein Endwert vereinbart werden muß.

```
326  IF BETA>200 THEN BETA=200
```

Das Erreichen des Endwerts unterbricht die bisherige synchrone Bewegung beider Winkeldrehungen. Die Drehung um den Winkel Beta unterbleibt, während der Winkel Alpha weiter verändert werden kann.

Dieses Beispiel soll die Technik der Bewegungssteuerung in Animationsvorgängen deutlich machen. Es ist ferner möglich, mehrere Variable in die Hauptphasenschleife einzubringen und sie dort mitlaufen zu lassen, so daß sehr komplexe Animationsvorgänge stattfinden können.

In der vorliegenden Anwendung zeigt die iterative Schleife ihren Nutzen, weil mit wenig Aufwand und in übersichtlicher Form Bildbeeinflussungen durchgeführt werden können.

```
1   REM --------------------------
2   REM  *** SHAPEROTATION   ***
3   REM --------------------------
5   CLS:DEG:D=20
7   INK 0,0: INK 1,22
10  FOR ALPHA= 0 TO 360 STEP 5
20  RESTORE
30  READ X,Y
40  GOSUB 130: PLOT BX,BY
50  FOR I= 2 TO 7
60  READ X,Y
70  GOSUB 130
80  DRAW BX,BY
90  NEXT I
100 CLS
110 NEXT ALPHA
120 END
130 XP= X*COS(ALPHA)+Y*SIN(ALPHA)
140 YP=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
150 BX=D*XP+320: BY=YP*D+200
160 RETURN
170 DATA -5,5, 5,5, 5,-5
180 DATA -5,-5, -5,5, 0,0, -5,-5
```

Variationen:

Objekt "K"

```
240 DATA 0,0, 2,0, 2,-4, 5,0, 7,0, 4,-4, 7,-10
250 DATA  5,-10, 3,-6, 2,-7, 2,-10, 0,-10, 0,0

120 FOR I=2 TO 13
```

Listing 5.1

Die Variation des Programms generiert den Buchstaben «K», siehe Bild 5.1.

5 Programmbeispiele

Die nachstehend aufgeführten Beispielprogramme zeigen die konstruktiven und programmiertechnischen Voraussetzungen, um die in den Bildausdrucken gezeigten Objekte zu verwirklichen.

Bei einigen Objekten ist nur noch der Datensatz beigefügt, da das 3D-Standardprogramm schon weiter oben aufgeführt worden ist. Falls Sie das Standardprogramm bereits auf Kassette oder Diskette gespeichert haben sollten, fügen Sie bitte die Datensätze jeweils mit Merge «Dateiname» an das Standardprogramm an (CPC464). Selbstverständlich können Sie die Datenblöcke auch als Programmzeilen abschreiben und dem Standardprogramm anfügen.

Bei den Shapes sind die Programmvariationen so zahlreich, daß jeweils ein ganzes Programmlisting verwendet wurde, um die Abweichung vom Standardprogramm aufzuzeigen. Sofern sich nur kleine Variationen der Programme ergaben, sind diese Abwandlungen im Zusatz zum Programm vermerkt.

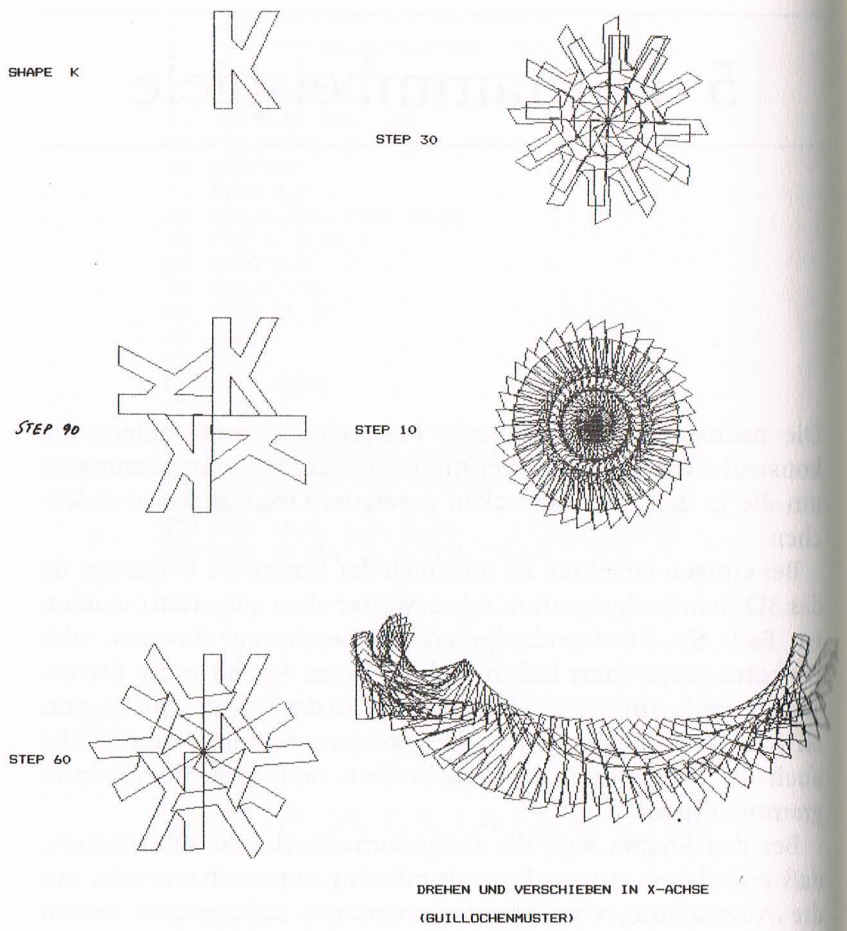


Bild 5.1 Durch Verkleinern des STEP-Wertes erzielte Ornamentwirkungen. Im letzten Bild wurde zusätzlich noch seitlich verschoben.


```
1    REM ============================
10   REM   ***  ENVELOPE ***
20   REM ============================
30   REM DREHUNGEN BELIEBIGER FORMEN
40   REM ----------------------------
50       CLS:DEG:D=20:MODE 2
60       INK 0,0: INK 1,24
70   REM ----------------------------
80   REM       RINGPHASENANZAHL
90   REM ----------------------------
100      FOR ALPHA= 0 TO 360 STEP 5
110      RESTORE
120      READ X,Y
130      GOSUB 260: PLOT BX,BY
140      FOR I= 2 TO 7
150      READ X,Y
160      GOSUB 260
170      DRAW BX,BY
180      NEXT I
190      FOR I=1 TO 400:NEXT
200      CLS
210      NEXT ALPHA
220      GOTO 100
230  REM ----------------------------
240  REM       MATRIZENRECHNUNG
250  REM ----------------------------
260      XP= X*COS(ALPHA)+Y*SIN(ALPHA)
270      YP=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
280  REM ----------------------------
290  REM     BILDSCHIRMKOORDINATEN
300  REM ----------------------------
310      BX= D*XP+320: BY=YP*D+200
320      RETURN
330  REM ----------------------------
340  REM          OBJEKTDATEN
350  REM ----------------------------
360      DATA -5,5, 5,5, 5,-5
370      DATA -5,-5, -5,5, 0,0, -5,-5
380  REM DIE ANZAHL DER BILDPUNKTE (PAARE)
390  REM MUSS IN DER SCHLEIFE IN ZEILE 140
400  REM BERUECKSICHTIGT WERDEN!
410  REM DER ERSTE BILDPUNKT WIRD FUER DEN
420  REM PLOTBEFEHL IN ZEILE 130 BENOETIGT.
```

Listing 5.2

```
1   REM ---------------------------
2   REM *** SCHIEFE ROTATIONEN  ***
3   REM ---------------------------
5   CLS:DEG:D=25:MODE 2
7   INK 0,0: INK 1,22
10  FOR ALPHA= 0 TO 360 STEP 9
15  D= D-1
20  RESTORE
30  READ X,Y
40  GOSUB 190: PLOT BX,BY
50  FOR I= 2 TO 5
60  READ X,Y
70  GOSUB 190
80  DRAW BX,BY
90  NEXT I
100 RESTORE
110 READ X,Y: GOSUB 190: PLOT CX,CY
120 FOR I= 2 TO 5
130 READ X,Y
140 GOSUB 190
150 DRAW CX,CY
160 NEXT I
170 NEXT ALPHA
180 END
190 XE= X*COS(ALPHA)-Y*SIN(ALPHA)
200 YE=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
210 BX= D*XE+200: BY=YE*D+200
220 CX= D*XE+450: CY=-YE*D+200
230 RETURN
240 DATA -5,5, 5,5, 5,-5
250 DATA -5,-5, -5,5, 0,0,-5,-5
```

Beachten Sie die veränderte Zeile 190 der Rotationsmatrix: Das Minuszeichen zwischen den Winkelfunktionen verzerrt die Darstellung.
Das Minuszeichen in Zeile 200 sorgt für die gegenläufige Drehung. Mit einem Pluszeichen laufen beide Rotationen parallel.
Die Zahlenangaben in Zeile 210 und 220 geben jeweils die Koordinaten für die Shapeausgabe an. Durch Verändern der Koordinaten verschiebt sich die Zeichnung entsprechend.
Werden die Zahlen als Variablen definiert,können sie in Schleifen laufen. Als Ergebnis erhält man sogenannte Guillochen, Ornamente,wie sie auf Wertpapieren und Geldscheinen üblich sind.

Listing 5.3


```
1   REM ---------------------------
2   REM *** DOPPEL-ROTATIONEN  ***
3   REM ---------------------------
4   REM ---VERSCHIEDENE OBJEKTE---
5   CLS:DEG:D=20:MODE 2
7   INK 0,0: INK 1,22
10  FOR ALPHA= 0 TO 360 STEP 90
20  RESTORE
30  READ X,Y
40  GOSUB 190: PLOT BX,BY
50  FOR I= 2 TO 9
60  READ X,Y
70  GOSUB 190
80  DRAW BX,BY
90  NEXT I
100 RESTORE
110 READ X,Y: GOSUB 190: PLOT CX,CY
120 FOR I= 2 TO 10
130 READ X,Y
140 GOSUB 190
150 DRAW CX,CY
160 NEXT I
170 NEXT ALPHA
180 END
190 XE= X*COS(ALPHA)+Y*SIN(ALPHA)
200 YE=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
210 BX= D*XE+ 200: BY=-YE*D+200
220 CX= D*XE+450: CY=YE*D+200
230 RETURN
240 DATA 0,0, 0,5, 2,8, 4,5, 4,0
250 DATA 0,5, 4,5, 0,0, 4,0, 0,0
```

In Zeile 10 wird der Stepwert von 90° verwendet. Hierdurch entstehen nur vier Motive im Kreis von 360°. Beachten Sie strenge Ornamentik. Versuchen Sie eigene Objekte zu entwickeln, um ornamentales Design zu verwirklichen!

Listing 5.4

5.1 2D-Programme, Shapes, Rotationen

Außer den genannten Operationen, die mit Shapes möglich sind, bieten sich noch weitere Vorzüge der Shape-Darstellung an. Ein definiertes Shape kann dupliziert oder vervielfacht werden, wobei die Position und die Größe eines jeden Shapes, unabhängig von weiteren Shapes auf dem Bildschirm, verändert werden können.

Die Vorteile sind auch für Animationsvorgänge zu beachten. Diese ornamentale Wirkung dieser zweidimensionalen Gebilde soll hier nur kurz angedeutet werden, obwohl die vielfältigen Möglichkeiten eine intensivere Beschäftigung mit diesen Programmen rechtfertigen.

Die aufgeführten Beispiele mögen ein Hinweis sein, wie sich solche Bildereignisse programmiertechnisch aufbereiten lassen.

```
5  REM ----- SHARP MZ 80 B -------------
6            GRAPH I1,C,O1
10 REM ---------------------------------
20 REM  *** DOPPEL-ROTATIONEN ***
25 REM
30 REM ---------------------------------
40 REM          EINGABEFELD
50 REM ---------------------------------
60     MX=160: MY=100: D=10
70 REM ---------------------------------
80 REM   ---- BILDPHASENSCHLEIFE ----
90 REM ---------------------------------
100    FOR ALPHA=0 TO 6.28 STEP 0.314
110    RESTORE
112 REM --------------------------------
115 REM        AUFRUF SHAPE 1
116 REM --------------------------------
120    READ X,Y
130    GOSUB 300
140    P1=BX: P2=BY
150    FOR I= 2 TO 10 :REM ANZAHL DER ECKPUNKTE
160    READ X,Y: GOSUB 300
170    P3=BX:P4=BY
180    LINE P1,P2,P3,P4
```



```
190    P3=P1:P4=P2
200    NEXT I
210 REM --------------------------------
220 REM        AUFRUF SHAPE 2
230 REM --------------------------------
240    RESTORE
245    READ X,Y:GOSUB 300
250    P1=CX:P2=CY
255    FOR I=2 TO 10
260    READ X,Y:GOSUB 300
265    P3=CX:P4=CY
270    LINE P1,P2,P3,P4
275    P3=P1:P4=P2
280    NEXT I: GRAPH C: NEXT ALPHA: END
282 REM --------------------------------
284 REM     ---- ROTATIONSMATRIX ----
285 REM --------------------------------
300    XP=X*COS(ALPHA)+Y*SIN(ALPHA)
310    YP=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
314 REM --------------------------------
315 REM -- BILDSCHIRMPUNKTE 1.SHAPE --
316 REM --------------------------------
320    BX=D*XP+MX: BY=-YP*D+MY
330 REM --------------------------------
335 REM -- BILDSCHIRMPUNKTE 2.SHAPE --
340 REM --------------------------------
350     CX=D*XP+MX: CY=YP*D+MY
360     RETURN
370     DATA 0,0,0,5,2,8,4,5,4,0
380     DATA 0,5,4,5,0,0,4,0,0,0
```

Darstellung von zwei gleichen SHAPES auf dem Bildschirm

Das definierte SHAPE wird zweimal gelesen (Zeile 120 und 240)
Das erste SHAPE verwendet zur Bildausgabe die Variablen BX, BY.

Das zweite SHAPE verwendet zur Bildausgabe die Variablen CX,CY.

Alle Variablen können mit dem Faktor D multipliziert werden, auch unabhängig voneinander, so daß die SHAPES in unterschiedlicher Größe dargestellt werden können. Ferner kann durch MX,MY jedes SHAPE an einen anderen Ort gesetzt werden. (Zeilen 320 und 350).

Die Variablen können durch iterative Schleifen in der Drehung laufend verändert werden, also auch Mehrfachbewegungen gleichzeitig ausführen.

Durch Entfernen von GRAPH C in Zeile280 (Löschbefehl) können die SHAPES auch ineinander geschrieben werden.

Listing 5.5

```
1   REM ---------------------------
2   REM *** VIER "L"-ROTATION ****
3   REM ---------------------------
5   CLS:DEG:D=9:MODE 2
7   INK 0,0: INK 1,22
8   PLOT 0,200: DRAW 640,200:PLOT 320,0:DRAW 320,400
10  FOR ALPHA= 0 TO 360 STEP 45
20  RESTORE
30  READ X,Y
40  GOSUB 190: PLOT BX,BY
50  FOR I= 2 TO 7
60  READ X,Y
70  GOSUB 190
80  DRAW BX,BY
90  NEXT I
100 RESTORE
110 READ X,Y: GOSUB 190: PLOT CX,CY
120 FOR I= 2 TO 7
130 READ X,Y
140 GOSUB 190
150 DRAW CX,CY
160 NEXT I
161 RESTORE: READ X,Y:GOSUB 190: PLOT DX,DY
162 FOR I=2 TO 7:READ X,Y:GOSUB 190:DRAW DX,DY: NEXT I
164 RESTORE
166 READ X,Y:GOSUB 190:PLOT EX,EY
168 FOR I= 2 TO 7: READ X,Y:GOSUB 190: DRAW EX,EY: NEXT I
170 NEXT ALPHA
180 END
190 XE= X*COS(ALPHA)+Y*SIN(ALPHA)
200 YE=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
210 BX= D*XE+ 220: BY=-YE*D+100
220 CX= D*XE+420: CY=YE*D+100
222 DX= D*XE+220: DY=YE*D+300
224 EX= D*XE+420: EY=-YE*D+300
230 RETURN
240 DATA 0,0, 0,-8, 4,-8, 4,-10, -2,-10, -2,0, 0,0
```

Variationen:

```
120 FOR I= 2 TO 9
240 DATA 0,0, 0,5, 2,8, 4,5, 4,0, 0,5, 4,5, 0,0, 4,0
```

Listing 5.6


```
1   REM ------------------------------------------------
2   REM     *** 4-FACH-ROTATION MIT ABFRAGE ***
3   REM ------------------------------------------------
4   CLS:INPUT"WIEVIEL ECKPUNKTE HAT DAS OBJEKT (9)";EP
5   CLS:DEG:MODE 2
6   D=12 : REM VERGROESSERUNGSFAKTOR
7   INK 0,0: INK 1,22
8   PLOT 0,200: DRAW 640,200:PLOT 320,0:DRAW 320,400
10  FOR ALPHA=0 TO 360 STEP 45 :REM BILDPHASENSCHLEIFE
20  RESTORE
25  REM ------------------------------------------------
26  REM          -------- ZEICHNEN -------
27  REM ------------------------------------------------
30  READ X,Y
40  GOSUB 240: PLOT BX,BY          : REM  1.SHAPE
50  FOR I= 2 TO EP
60  READ X,Y
70  GOSUB 240
80  DRAW BX,BY
90  NEXT I
100 RESTORE
110 READ X,Y: GOSUB 240: PLOT CX,CY :REM 2.SHAPE
120 FOR I= 2 TO EP
130 READ X,Y
140 GOSUB 240
150 DRAW CX,CY
160 NEXT I
165 RESTORE
170 READ X,Y:GOSUB 240: PLOT DX,DY :REM 3.SHAPE
180 FOR I=2 TO EP:READ X,Y:GOSUB 240:DRAW DX,DY: NEXT I
190 RESTORE
200 READ X,Y:GOSUB 240:PLOT EX,EY  :REM 4.SHAPE
210 FOR I= 2 TO EP: READ X,Y:GOSUB 240: DRAW EX,EY: NEXT I
220 NEXT ALPHA
230 END
232 REM ------------------------------------------------
233 REM          ------- ROTATIONSMATRIX ------
234 REM ------------------------------------------------
240 XE= X*COS(ALPHA)+Y*SIN(ALPHA)
250 YE=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
252 REM ------------------------------------------------
253 REM          -------- BILDAUSGABE --------
254 REM ------------------------------------------------
260 BX= D*XE+220: BY=-YE*D+100  :REM DARSTELLUNG 1.SHAPE
270 CX= D*XE+420: CY=YE*D+100   :REM DARSTELLUNG 2.SHAPE
280 DX= D*XE+220: DY=YE*D+300   :REM DARSTELLUNG 3.SHAPE
290 EX= D*XE+420: EY=-YE*D+300  :REM DARSTELLUNG 4.SHAPE
300 RETURN
310 DATA 0,0, 0,5, 2,8, 4,5, 4,0, 0,5, 4,5, 0,0, 4,0
```

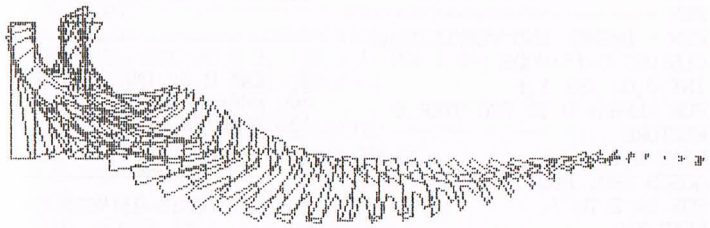
Listing 5.7

5.2 2D-Guillochenmuster

Das Programm «Guillochenmuster» basiert weitgehend auf dem Programm «Rotation». Die einzelnen Shapes werden beim Programmlauf nicht mehr sofort gelöscht, sondern ineinandergeschrieben. Durch die streng mathematischen Umrisse der Shapes ergeben sich somit neue interessante grafische Formen. Meist treten hierbei Spiralen oder zahnradähnliche Formen auf. Auf jeden Fall ist es lohnend, sich spielerisch durch den reichen Formenschatz dieses Programms hindurchzuarbeiten. Schon kleine Abwandlungen im Shape selbst oder in der Schleife generieren neue Bildmuster. Die Verwendung solcher Bildmuster im Film- oder Printbereich bietet sich geradezu an.

Sollen Einzelbildaufnahmen vom Bildschirm gemacht werden, sollte jede Programmänderung durch eine entsprechend dimensionierte Warteschleife in der Bildphasenschleife für einen Augenblick auf dem Bildschirm festgehalten werden, um den Auslöser der Kamera betätigen zu können. Auf eine programmgesteuerte Kameraauslösung wird noch an anderer Stelle eingegangen. Dann kann der gesamte Aufzeichnungsvorgang völlig selbstgesteuert ablaufen, was bei langen Bildaufbauzeiten eine erhebliche Entlastung darstellt.

DREHEN, VERSCHIEBEN UND VERKLEINERN



```
1 REM ---------------------------------
2 REM *******  SHAPE-ROTATION *******
3 REM ---------------------------------
5     #OPEN:CLS:#CLS
7     MX= 10:MY=95
8     D=7
10    FOR AL=0 TO 6.28 STEP 0.17
15    MX=MX+8
16    D=D-.2
20    RESTORE
30    READ X,Y
40    GOSUB 130:P1=BX:P2=BY
50    FOR I=2 TO 13
55    P1=BX:P2=BY
60    READ X,Y
70    GOSUB 130:P3=BX:P4=BY
80    #LINE(P1,P2)-(P3,P4),SET
85    P3=BX:P4=BY
90    NEXT I
110   NEXT AL
120   END
130   XE=X*COS(AL)+Y*SIN(AL)
140   YE=-X*SIN(AL)+Y*COS(AL)
150   BX=D*XE*.8+MX : BY=D*YE+MY
160   RETURN
170   DATA  0,0, 2,0, 2,-4, 5,0, 7,0, 4,-4,7,-10
175   DATA  5,-10, 3,-6, 2,-7, 2,-10, 0,-10,0,0
```

Listing 5.8 Durch Drehen und Verkleinern sowie durch gleichzeitiges Verschieben des Shapes entstehen Guillochen – verschlungene Ornamente, wie sie von Wertpapieren und Geldscheinen bekannt sein dürften.

```
1   REM ---------------------------
2   REM *** GUILLOCHEN-MUSTER ****
3   REM ---------------------------
4   REM - DREHEN UND VERKLEINERN -
5   CLS:DEG:D=15:MODE 1
7   INK 0,0: INK 1,6
10  FOR ALPHA= 0 TO 720 STEP 8
20  RESTORE
30  READ X,Y
40  GOSUB 190: PLOT BX,BY
50  FOR I= 2 TO 7
60  READ X,Y
70  GOSUB 190
80  DRAW BX,BY
90  NEXT I
100 RESTORE
110 READ X,Y: GOSUB 190: PLOT CX,CY
120 FOR I= 2 TO 7
130 READ X,Y
140 GOSUB 190
150 DRAW CX,CY
160 NEXT I
170 NEXT ALPHA
180 END
190 XE= X*COS(ALPHA)+Y*SIN(ALPHA)
200 YE=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
210 BX= D*XE+ALPHA: BY=-YE*D+200
220 REM CX= D*XE+450: CY=YE*D+200
230 RETURN
240 DATA -5,5, 3,5, 4,-2
250 DATA -3,-2, -4,5, 2,8,-5,5
```

Abwandlungen von "Guillochen-Muster"

```
150 DRAW CX,CY,2
7   INK 0,0: INK 1,6:INK 2,1
150 DRAW CX,CY,2
```

```
210 BX= D*XE+ALPHA: BY=-YE*D+ALPHA/
220 CX= D*XE+150: CY=YE*D+300
```

```
7   INK 0,0: INK 1,6:INK 2,1
80  DRAW BX,BY,2
150 DRAW CX,CY,1
```

```
5   CLS:DEG:D=25:MODE 1
```

```
7   INK 0,0: INK 1,6:INK 2,1
8   INK 3,12
80  DRAW BX,BY,2
150 DRAW CX,CY,1
161 RESTORE:READ X,Y:GOSUB 190
162 PLOT DX,DY:FOR I= 2 TO 5:READ X,
163 GOSUB 190:DRAW DX,DY,3:NEXT I
210 BX= D*XE+ALPHA: BY=-YE*D+ALPHA/
220 CX= D/2*XE+200: CY=YE*D/4+300
225 DX=D*XE+450:DY=D/8*YE+50
```

```
5   CLS:DEG:D=35:MODE 1
7   INK 0,0: INK 1,6:INK 2,1
8   INK 3,12
210 BX= D*XE+ALPHA: BY=-YE*D+ALPHA/
220 CX= D/1.3*XE+200: CY=YE*D/2+300
```

```
5   CLS:DEG:D=55:MODE 1
7   INK 0,0: INK 1,6:INK 2,1
8   INK 3,12
```

Listing 5.9


```
10  REM ----------------------------------
20  REM * DOPPEL-ROTATIONEN GEGENLAEUFIG *
30  REM ----------------------------------
40  REM --------- GEDREHTES "K" ----------
50  CLS:DEG:MODE 2: INK 0,0:INK 1,24
55  D=13  :REM OBJEKTGROESSE
60  INK 0,0: INK 1,22
70  REM ------- LINKE SEITE --------------
80  FOR ALPHA= 0 TO 360 STEP 45
90  RESTORE
100 READ X,Y
110 GOSUB 280: PLOT BX,BY
120 FOR I= 2 TO 13
130 READ X,Y
140 GOSUB 280
150 DRAW BX,BY
160 NEXT I
170 REM ------- RECHTE SEITE -------------
180 RESTORE
190 READ X,Y: GOSUB 280: PLOT CX,CY
200 FOR I= 2 TO 13
210 READ X,Y
220 GOSUB 280
230 DRAW CX,CY
240 NEXT I
250 NEXT ALPHA
260 END
270 REM ------- ROTATIONSMATRIX ----------
280 XE= X*COS(ALPHA)+Y*SIN(ALPHA)
290 YE=-X*SIN(ALPHA)+Y*COS(ALPHA)
300 REM --------  PERSPEKTIVE ------------
310 BX= D*XE+ 190: BY=-YE*D+200
320 CX= D*XE+460: CY=YE*D+200
330 RETURN
340 REM ------- OBJEKTDATEN --------------
350 DATA 0,0, 2,0, 2,-4, 5,0, 7,0, 4,-4,7,-10
360 DATA  5,-10, 3,-6, 2,-7, 2,-10, 0,-10, 0,0
```

Listing 5.10 Die gegenläufige Drehung beider Shapes wird durch das Minuszeichen in Zeile 310 bewirkt. Vertauschen der Vorzeichen bewirkt generell eine Umkehrung der Rotationsrichtung.

5.3 Funktionsflächen mit DATA-Ergänzung

In den meisten Programmen werden die X- und Y-Werte durch Schleifen erzeugt. Die Z-Werte werden als Funktion von X oder Y gewonnen. Dieses Verfahren ist zwar sehr elegant, aber auch in seinen Anwendungsmöglichkeiten auf eine stetig wiederkehrende Formensprache begrenzt, das heißt, alle Funktionsabbildungen sind einander sehr ähnlich.

Eine zusätzliche Komponente kann hier Abhilfe schaffen: das Einfügen von Z-Werten über DATAs. Somit ist die Fläche in jeder Weise in der Z-Achse zu beeinflussen. Geht man noch weiter und verbindet beide Operationen zu einem Programm, so steht ein Werkzeug von großer Vielfalt zur Verfügung.

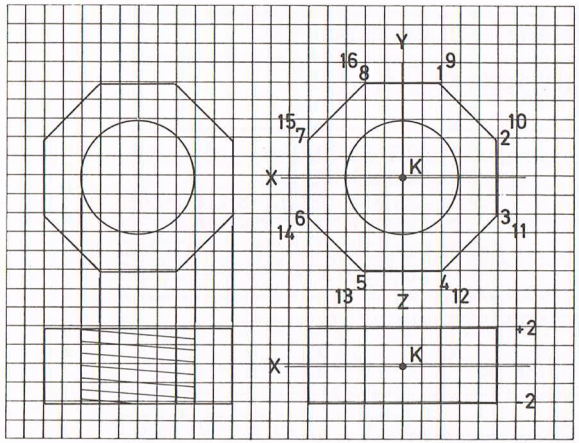
Seine Leistungsfähigkeit wird deutlich, wenn sowohl Schleifenwerte als auch Daten zur Darstellung eines Objekts herangezogen werden müssen.

Das Programm «Gewindemutter» ist dafür ein Beispiel. Die umschließenden Achtecke werden über Dateneingaben realisiert. Die Bohrung und das Gewinde werden über Schleifenwerte dargestellt. Für die Aufgabe «Auto» würde sich die Darstellung der Karosserie über Dateneingabe stellen und für die Räder über Schleifenoperationen. Hierzu muß man sich darüber klar werden, daß man es mit einem X-Y-Z-Koordinatensystem zu tun hat, das – von einem Konstruktionsmittelpunkt ausgehend – alle Werte in Abhängigkeit voneinander bestimmt. Schleifenwerte und DATAs müssen in der Dimensionierung sinngemäß miteinander verknüpft werden. Ein Kreis, der ein umschriebenes Quadrat berühren soll, muß den Maßen des Quadrates entsprechend einen definierten Radius haben.

Vielleicht stellt sich der Leser selbst die Aufgabe «Kuckucksuhr». Dabei ist das Gehäuse aus Dateneingaben, das Zifferblatt aus Schleifenwerten darzustellen.


```
3     REM ==================================================
5     REM        *** FUNKTIONSFLAECHEN MIT DATAS  ***
6     REM ==================================================
10        MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: CLS
65        DEG
80    REM ------------------------------------------------------
200       ALPHA  =0                 :REM DREHWINKEL 1
210       BETA   =0                 :REM DREHWINKEL 2
220       ABSTAND=20                :REM ABSTAND OBJEKT-BILDSCHIRM
230       ENTF   =600               :REM BEOBACHTERENTFERNUNG
240       VX     =320               :REM VERSCHIEBUNG IN X-RICHTUNG
250       VY     =200               :REM VERSCHIEBUNG IN Y-RICHTUNG
256   REM ------------------------------------------------------
257   REM        ----- BILDPHASEN FUER ANIMATION -------
258   REM ------------------------------------------------------
260       FOR BETA=0 TO 360 STEP 36
270   REM ------------------------------------------------------
280   REM ------------------------------------------------------
282   REM                ------ DATENSCHLEIFE ------
284   REM ------------------------------------------------------
290       READ X,Y,Z:GOSUB 500: PLOT BX,BY
300       FOR I=1 TO 9: READ X,Y,Z: GOSUB 500:
340       DRAW  BX,BY
350       NEXT I
360       RESTORE
365   REM ------------------------------------------------------
366   REM ----------- KREISROUTINE FUER BILDAUSGABE ----------
367   REM ------------------------------------------------------
370       FOR U=1 TO 360 STEP 0.9
372       X=5*COS(U): Y=5*SIN(U):Z=2
374       GOSUB 500: PLOT BX,BY
380       NEXT U
390       CLS:NEXT BETA
400       END
500   REM ------------------------------------------------------
510   REM -------------  PERSPEKTIVEBERECHNUNGEN ---------------
520   REM ------------------------------------------------------
521       W1=SIN(ALPHA): W2=COS(ALPHA):W3=SIN(BETA):W4=COS(BETA)
530       XP=-X*W1+Y*W2
540       YP=-X*W2*W4-Y*W1*W4+Z*W3
550       ZP=-X*W3*W1-Y*W2*W1-Z*W4+ABSTAND
560       BX= ENTF*XP/ZP+VX
570       BY= VY-ENTF*YP/ZP
580       RETURN
990   REM ------------------------------------------------------
992   REM -------------------- BILDDATEN ----------------------
994   REM ------------------------------------------------------
1000      DATA 5,5,0, 5,-5,0,-5,-5,0,-5,5,0,5,5,0
1010      DATA 5,5,2,5,-5,2,-5,-5,2,-5,5,2,5,5,2
```

Listing 5.11



Gewindemutter

Eckpunkt	X	Y	Z
1	2	5	2
2	5	2	2
3	5	−2	2
4	2	−5	2
5	−2	−5	2
6	−5	−2	2
7	−5	2	2
8	−2	5	2
9	2	5	−2
10	5	2	−2
11	5	−2	−2
12	2	−5	−2
13	−5	−2	−2
14	−5	2	−2
15	−5	2	−2
16	−2	5	−2

Bild 5.2 Konstruktionszeichnung einer Achtkantmutter mit Eckpunktliste. Die Kreise und das Gewinde werden über Schleifenoperationen dargestellt.

```
2     REM -----  DARSTELLUNG EINES RAEUMLICHEN BAUTEILS --------
3     REM ==================================================
5     REM                 ***  GEWINDEMUTTER  ***
6     REM ==================================================
10        MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: CLS
20        DEG
30    REM -------------------------------------------------------
40       ALPHA  =0                 :REM DREHWINKEL 1
50       BETA   =0                 :REM DREHWINKEL 2
60       ABSTAND=20                :REM ABSTAND OBJEKT-BILDSCHIRM
70       ENTF   =500               :REM BEOBACHTERENTFERNUNG
80       VX     =320               :REM VERSCHIEBUNG IN X-RICHTUNG
90       VY     =210               :REM VERSCHIEBUNG IN Y-RICHTUNG
100   REM -------------------------------------------------------
110   REM         ----- BILDPHASEN FUER ANIMATION -------
120   REM -------------------------------------------------------
```



```
130       FOR BETA=0 TO 360 STEP 18
140   REM -------------------------------------------------------
150   REM -------------------------------------------------------
160   REM                 ------ DATENSCHLEIFE ------
170   REM -------------------------------------------------------
180       READ X,Y,Z:GOSUB 380: PLOT BX,BY
190       FOR I=1 TO 31: READ X,Y,Z: GOSUB 380:
200       DRAW  BX,BY
210       NEXT I
220       RESTORE
230   REM -------------------------------------------------------
240   REM ----------- KREISROUTINE FUER BILDAUSGABE --------------
250   REM -------------------------------------------------------
340       FOR U=0 TO 360
350       X=3* COS(U):Y=3*SIN(U):Z=0:GOSUB 380:PLOT BX,BY: NEXT U
351       FOR U=0 TO 360          :X=3*COS(U):Y=3*SIN(U):Z=4
352       GOSUB 380: PLOT BX,BY: NEXT U: Z=0
353       FOR U=0 TO 1600 STEP 2 : X=3*COS(U):Y=3*SIN(U): Z=Z+0.005
354       GOSUB 380: PLOT BX,BY: NEXT U
360       CLS:NEXT BETA
370       END
380   REM -------------------------------------------------------
390   REM -------------  PERSPEKTIVEBERECHNUNGEN ----------------
400   REM -------------------------------------------------------
410       W1=SIN(ALPHA): W2=COS(ALPHA):W3=SIN(BETA):W4=COS(BETA)
420       XP=-X*W1+Y*W2
430       YP=-X*W2*W4-Y*W1*W4+Z*W3
440       ZP=-X*W3*W1-Y*W2*W1-Z*W4+ABSTAND
450       BX= ENTF*XP/ZP+VX
460       BY= VY-ENTF*YP/ZP
470       RETURN
480   REM -------------------------------------------------------
490   REM -------------------- BILDDATEN ------------------------
500   REM -------------------------------------------------------
510      DATA 2,5,0, 5,2,0, 5,-2,0, 2,-5,0, -2,-5,0, -5,-2,0, -5,2,
520      DATA -2,5,0, 2,5,0
530      DATA 2,5,4, 5,2,4, 5,2,0, 5,2,4, 5,-2,4, 5,-2,0, 5,-2,4
540      DATA 2,-5,4, 2,-5,0, 2,-5,4, -2,-5,4, -2,-5,0, -2,-5,4
550      DATA -5,-2,4, -5,-2,0, -5,-2,4, -5,2,4, -5,2,0, -5,2,4
560      DATA -2,5,4, -2,5,0, -2,5,4, 2,5,4
```

Listing 5.12

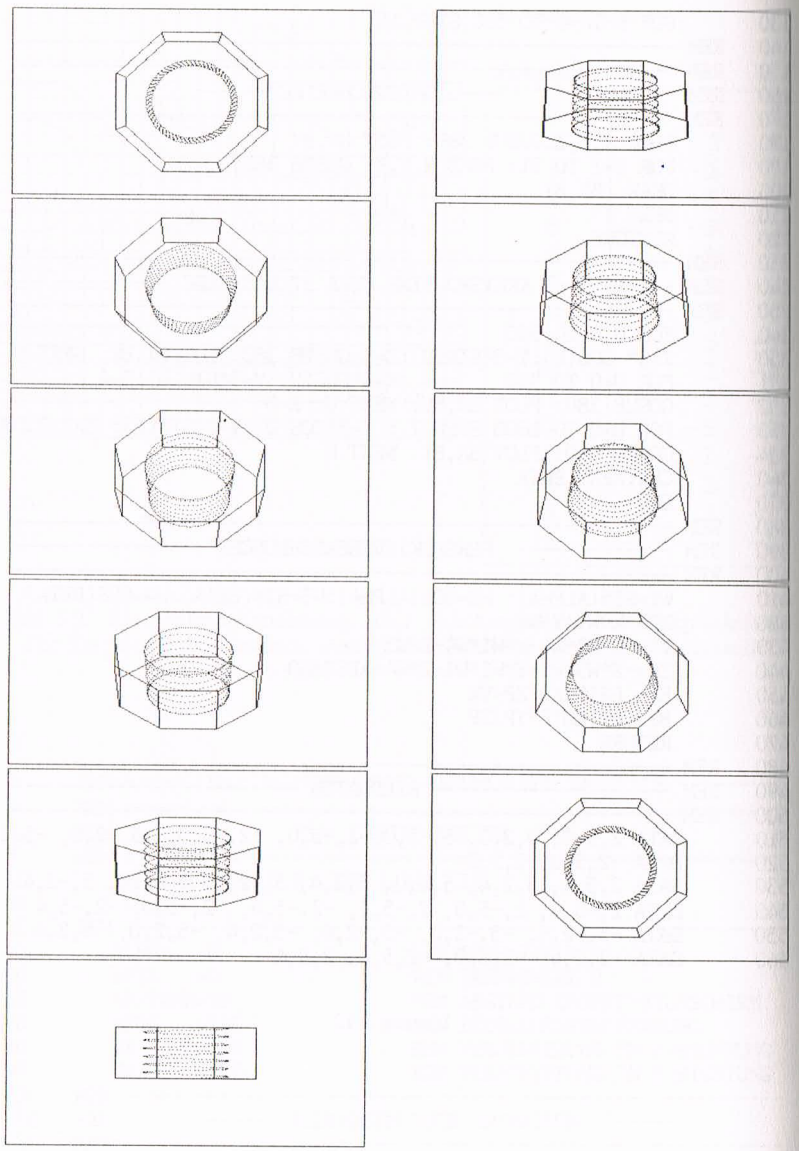


Bild 5.3 Phasenablauf einer räumlichen Drehung

5.4 Funktionsflächen in Bewegung

Bei den bisherigen Programmen bestand die Möglichkeit, eine Funktionsfläche um einen Konstruktionsmittelpunkt zu drehen oder zu verschieben. Eine Variante der obenerwähnten Programme stellt die Funktionsfläche in Wellenbewegung dar.

Die Funktionsfläche schwingt hierbei, einer Sinusfunktion folgend, von links nach rechts über den Bildschirm. Die Bewegung wird dadurch erzielt, daß die Anfangs- und Endwerte der Y-Schleife bei jedem Schleifendurchlauf um einen bestimmten Wert, in diesem Falle um die STEP-Weite SY, erhöht werden. Damit gleitet die Funktionsfläche gewissermaßen an der Sinusfunktion entlang. Das Ergebnis ist eine sinusförmig geschwungene Fläche in gleitender Bewegung. Diese Methode kann benutzt werden, um Schriftzüge oder andere Darstellungen auf den Schirm zu bringen.

Mit den Anfangs- und Endwerten der X- und Y-Schleifen kann der Ausschnitt der Funktionskurve festgelegt werden. Im vorliegenden Programm wird die Funktionskurve von −Pi bis +Pi geschrieben (Zeile 190 bis 220). Das Ergebnis ist eine volle Sinusschwingung. Sinngemäß kann die Funktionsweite abgewandelt werden, wenn man die Schleifen von −2*Pi bis +2*Pi laufen läßt. Es entstehen dann zwei volle Sinusschwingungen nebeneinander – die Fläche erscheint mehrfach gewölbt. Diese Änderung kann auch mit der Funktion selbst vorgenommen werden:

```
Z=2*SIN(Y)
```

Erscheinen die Wölbungen als zu flach, kann der Sinus mit einem Faktor multipliziert werden:

```
Z=SIN(2*Y)
```

In Zeile 140 ist der X-Wert des Konstruktionsmittelpunktes nach links verschoben worden (X=−420). Hierdurch taucht die Fläche am linken Bildrand auf und wandert kontinuierlich über den Bildschirm. Für den Bildvorschub ist die Schleife in Zeile 280 verantwortlich. Der Schleifenendwert ist der Länge des gewünschten Vorschubs anzupassen. Beachten Sie, daß jeweils um eine STEP-Weite vorwärtsgeschoben wird. Sollte der Schleifenendwert nicht ausreichend groß genug sein, bleibt die Funktionsfläche vor Erreichen des rechten Bildrandes stehen.

Die Geschwindigkeit des Verschiebungsvorgangs kann durch eine iterative Schleife beeinflußt werden. Eine Erhöhung der STEP-Werte bewirkt eine Beschleunigung des Verschiebevorgangs.

```
285   YA=YA+A*SY : YE=YE+2*SY
```

```
10   REM ==========================================================
20   REM     **** FUNKTIONSFLAECHEN IN 3D-DARSTELLUNG ***
30   REM ==========================================================
35   REM      FUNKTIONSFLAECHE IN SEITLICHER WELLENBEWEGUNG
40      :
50      :
60       MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: CLS:  ORIGIN 320,200
70   REM ----------------------------------------------------------
80   REM              EINGABEFELD ZUR BILDVERAENDERUNG
90   REM ----------------------------------------------------------
100      ALPHA  =0.1              :REM DREHWINKEL 1
110      BETA   =1.3              :REM DREHWINKEL 2
120      ABSTAND=9                :REM ABSTAND OBJEKT-BILDSCHIRM
130      ENTF   =400              :REM BEOBACHTERENTFERNUNG
140      VX     =-420             :REM VERSCHIEBUNG IN X-RICHTUNG
150      VY     =1                :REM VERSCHIEBUNG IN Y-RICHTUNG
160   REM ----------------------------------------------------------
170   REM   ANFANGS- UND ENDWERTE DER DARZUSTELLENDEN FUNKTION
180   REM ----------------------------------------------------------
190      XA=   -3.14                :REM ANFANGSWERT VON X
200      XE=    3.14                :REM ENDWERT VON X
210      YA=   -3.14                :REM ANFANGSWERT VON Y
```



```
220      YE=    3.14                :REM ENDWERT VON Y
230      SX=    0.628               :REM STEPWEITE DER X=SCHLEIFE
240      SY=    0.628               :REM STEPWEITE DER Y=SCHLEIFE
242   REM ----------------------------------------------------------
250   REM ----------------------------------------------------------
260   REM                ANZAHL DER BILDPHASEN
270   REM ----------------------------------------------------------
280      FOR V= 1 TO 50  :REM V=ANZAHL DER SEITLICHEN VORSCHUEBE
285      YA=YA+SY: YE=YE+SY :REM VORSCHUB MIT DER STEPWEITE SY
290   REM ----------------------------------------------------------
300   REM              SCHLEIFEN FUER DIE Y-LINIEN
310   REM ----------------------------------------------------------
320      FOR Y=YA TO YE STEP SY: X=XA
330      GOSUB 700: GOSUB 520: P1=BX: P2=BY
340      FOR X=XA TO XE STEP SX
350      GOSUB 700: GOSUB 520: P3=BX: P4=BY
360      PLOT P1,P2: DRAW P3,P4
370      P1=P3: P2=P4
380      NEXT X,Y
390   REM ----------------------------------------------------------
400   REM                SCHLEIFEN FUER DIE X-LINIEN
410   REM ----------------------------------------------------------
420      FOR X=XA TO XE STEP SX: Y=YA
430      GOSUB 700: GOSUB 520: P1=BX: P2=BY
440      FOR Y=YA TO YE STEP SY
450      GOSUB 700: GOSUB 520: P3=BX: P4=BY
460      PLOT P1,P2: DRAW P3,P4
470      P1=P3: P2=P4
480      NEXT Y,X
490      CLS
500      NEXT V
510      END
520   REM ----------------------------------------------------------
530   REM              PERSPEKTIVEBERECHNUNGEN
540   REM ----------------------------------------------------------
550      W1=SIN(ALPHA):W2=COS(ALPHA):W3=SIN(BETA):W4=COS(BETA)
570      PY=X*W2*W4-Y*W1*W4+Z*W3
580      PZ=X*W3*W1-Y*W2*W1-Z*W4+ABSTAND
590      BX= ENTF*PX/PZ+VX
600      BY= VY-ENTF*PY/PZ
610   REM ----------------------------------------------------------
620   REM                DARZUSTELLENDE FUNKTION
630   REM ----------------------------------------------------------
700      Z=SIN(Y)
710      RETURN
```

Listing 5.13

5.5 3D-Standardprogramm – 3D-Kasten

```
 5   REM                    3D - KASTEN
10   REM ==============================================
20   REM    *****      3D-STANDARDPROGRAMM        *****
30   REM ==============================================
40       CLS: MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: BORDER 1
50       INPUT "WIEVIEL ECKPUNKTE HAT DAS OBJEKT(53)";EP
55       INPUT "ANZAHL DER DATAZEILEN ZUM LINIENZIEHEN(22)";AD
56       CLS
60   REM ----------------------------------------------
70   REM            DIMENSIONIERUNG DER ARRAYS
80   REM ----------------------------------------------
90       DIM X(EP),Y(EP),Z(EP)
100      DIM BX(EP),BY(EP)
130      DIM K(AD,5)
140      DIM L(AD)
150      FOR I=1 TO EP: READ X(I),Y(I),Z(I):NEXT I
160      FOR I=1 TO AD: READ L(I)
170      FOR J=1 TO L(I) :READ K(I,J):NEXT J: NEXT I
180  REM ----------------------------------------------
190  REM        EINGABEFELD FUER BILDVERAENDERUNGEN
200  REM ----------------------------------------------
210      ALPHA=90      :REM DREHWINKEL 1
220      BETA=180      :REM DREHWINKEL 2
230      GAMMA=0       :REM DREHWINKEL 3
240      VX   =1       :REM VERSCHIEBUNG IN DER X-ACHSE
250      VY   =350     :REM VERSCHIEBUNG IN DER Y-ACHSE
260      VZ   =1       :REM VERSCHIEBUNG IN DER Z-ACHSE
270      OB   =8       :REM BILDWINKEL (OBJEKTIVBRENNWEITE)
280      G    =100     :REM ABBILDUNGSGROESSE
290  REM ----------------------------------------------
300  REM     BILDPHASENZAHL DES ANIMATIONSVORGANGES
310  REM ----------------------------------------------
320      FOR ALPHA=0 TO 360 STEP 10 :REM 36 BILDPHASEN
330  REM ----------------------------------------------
340  REM           UMRECHNUNG DER BILDPUNKTE
350  REM ----------------------------------------------
360      GOSUB 700
370      FOR I=1 TO EP
380      X=X(I): Y=Y(I): Z=Z(I)
390      GOSUB 800
400      BX(I)=BX: BY(I)=BY
410      NEXT I
420      FOR I= 1 TO AD
430      FOR J=1 TO L(I)-1
440      P1=BX(K(I,J)): P2=BY(K(I,J)): P3=BX(K(I,J+1))
```

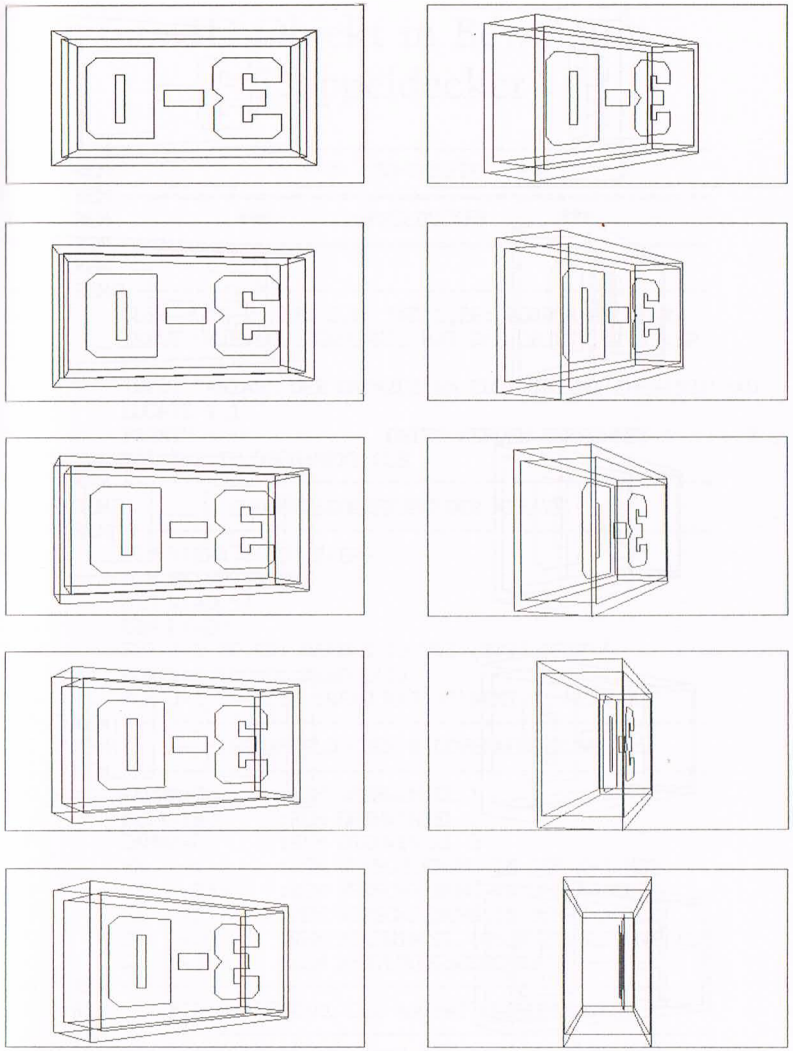


```
450      P4=BY(K(I,J+1))
460      PLOT P1,P2: DRAW P3,P4
470      NEXT J,I
472      FOR I=1 TO  1900:NEXT
473      REM HIER DRUCKBEFEHL EINFUEGEN !
475      CLS
480      NEXT ALPHA:END
700  REM ----------------------------------------------
705      DEG
720      CA=COS(ALPHA):CB=COS(BETA):CC=COS(GAMMA)
730      SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
740      RETURN
800  REM ----------------------------------------------
810  REM                PUNKTABBILDUNGEN
820  REM ----------------------------------------------
830      X1=X: Y1=CA*Y-SA*Z: Z1=SA*Y+CA*Z
840      X2=CB*X1-SB*Z1: Y2=Y1: Z2=SB*X1+CB*Z1
850      X3=CC*X2-SC*Y2: Y3=SC*X2+CC*Y2: Z3=Z2
860      X4=X3+VX: Y4=Y3+VY: Z4=Z3+VZ
870  REM ----------------------------------------------
880  REM              PERSPEKTIVEBERECHNUNG
890  REM ----------------------------------------------
900      U=-X4/Y4*G
910      V=-Z4/Y4*G
920  REM ----------------------------------------------
930  REM      UMRECHNUNG AUF BILDSCHIRMKOORDINATEN
940  REM ----------------------------------------------
950      BX=320+OB*U
960      BY=200-OB*V
970      RETURN
1000 REM ----------------------------------------------
1010 REM                ECKPUNKTDATEN
1020 REM ----------------------------------------------
1030     DATA -65,-40,17, -65,40,17, 65,40,17, 65,-40,17,-60,-35,17
1040     DATA -60,35,17, 60, 35,17, 60,-35,17, -65,-40,-17, -65,40,-17
1050     DATA 65,40,-17, 65,-40,-17, -60,-35,-17, -60,35,-17, 60,35,-17
1060     DATA 60,-35,-17, -50,10,7, -50,20,7, -45,25,7,-20,25,7
1070     DATA -15,20,7, -15,5,7, -20,0,7, -15,-5,7, -15,-20,7, -20,-25,7
1080     DATA -45,-25,7, -50,-20,7, -50,-10,7, -35,-10,7, -35,-15,7
1090     DATA -30,-15,7, -30,-5,7, -42,-5,7, -42,5,7, -30,5,7, -30,15,7
1100     DATA -35,15,7, -35,10,7, -10,-5,7, -10,5,7, 10,5,7, 10,-5,7
1110     DATA 15,-25,7, 15,25,7, 45,25,7, 50,20,7, 50,-20,7, 45,-25,7
1120     DATA 30,-15,7, 30,15,7, 35,15,7, 35,-15,7
1125 REM 53 ECKPUNKTE
1130 REM ----------------------------------------------
1140 REM                LINIENDATEN
1150 REM ----------------------------------------------
```

```
1160      DATA 5,1,2,3,4,1
1170      DATA 5,5,6,7,8,5
1180      DATA 5,9,10,11,12,9
1190      DATA 5,13,14,15,16,13
1200      DATA 2,9,1
1210      DATA 2,13,5
1220      DATA 2,14,6
1230      DATA 2,10,2
1240      DATA 2,11,3
1250      DATA 2,15,7
1260      DATA 2,16,8
1270      DATA 2,12,4
1280      DATA 5,17,18,19,20,21
1290      DATA 5,21,22,23,24,25
1300      DATA 5,25,26,27,28,29
1310      DATA 5,29,30,31,32,33
1320      DATA 5,33,34,35,36,37
1330      DATA 4,37,38,39,17
1340      DATA 5,40,41,42,43,40
1350      DATA 5,44,45,46,47,48
1360      DATA 3,48,49,44
1365      DATA 5,50,51,52,53,50
1370  REM 22 DATENZEILEN FUER LINIEN
```

3D-Standardprogramm bis Zeile 970. Datensätze mit MERGE"Name" anfügen!

Listing 5.14



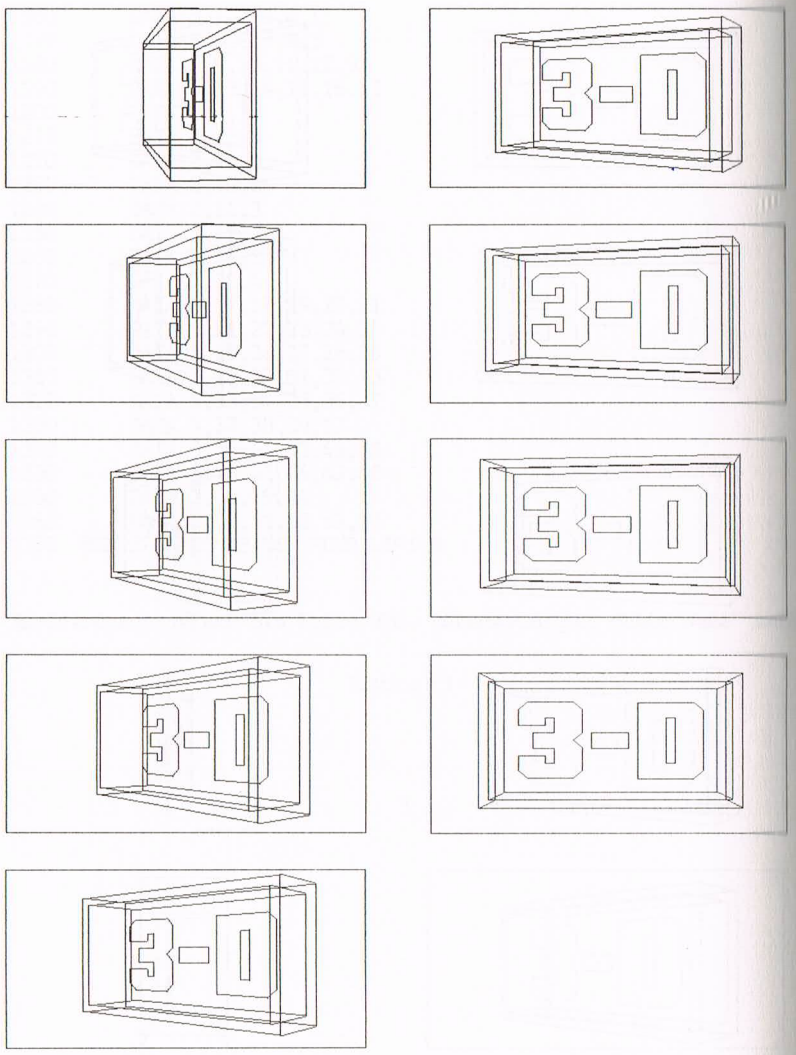


Bild 5.4 3D-Kasten in räumlicher Drehung. Dieses Objekt wurde mit dem 3D-Standardprogramm erzeugt.

5.6 3D-Objekt in Bewegung – Doppeldecker

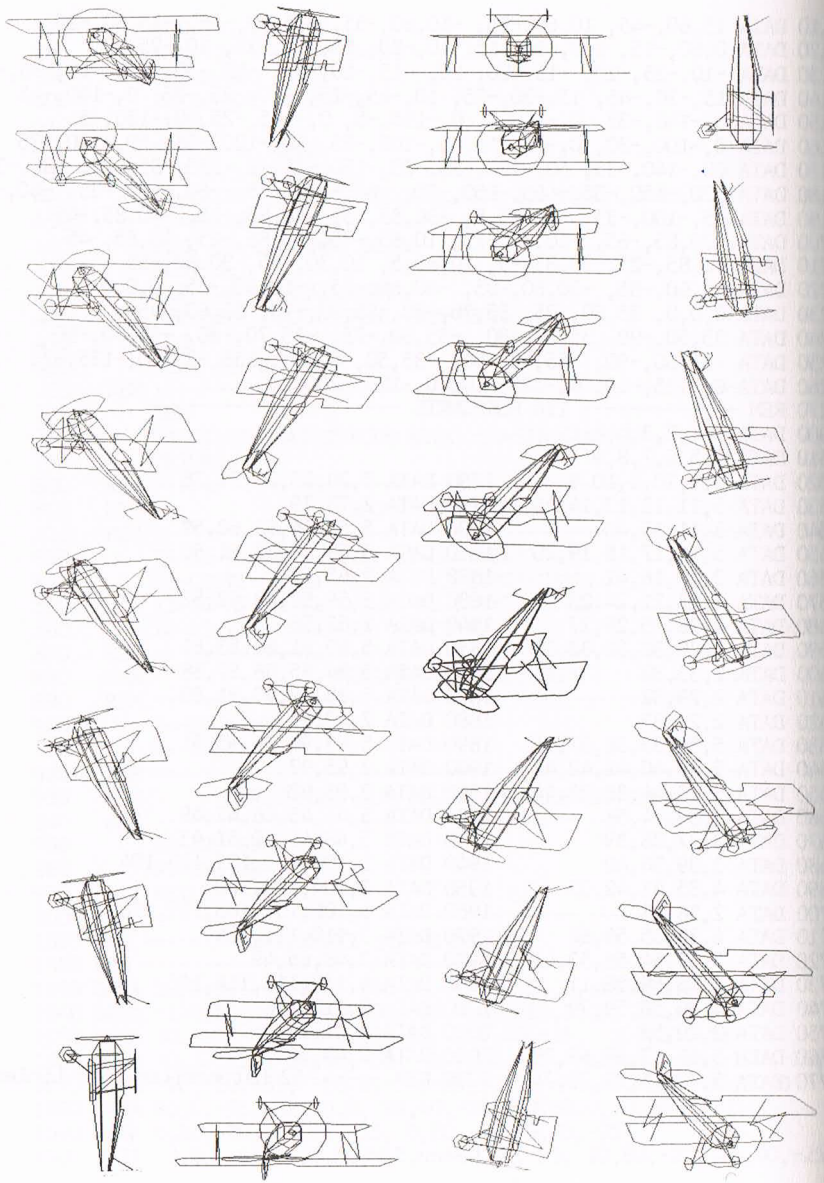
```
4     REM ------------------------------------------------
5     REM                 ***   3D-GRAFIK   ***
10    REM ================================================
20    REM          ***       DOPPELDECKER       ***
30    REM ================================================
35    REM
36    REM ------------------------------------------------
40        CLS: MODE 2: INK 0,1: INK 1,26: BORDER 0:CLEAR
50        INPUT "WIEVIEL ECKPUNKTE HAT DAS OBJEKT(116)";EP
52        CLS
55        INPUT "ANZAHL DER DATAZEILEN ZUM LINIENZIEHEN(52)";AD
56        LOCATE 1,1
57        PRINT"                DATEN WERDEN BERECHNET !      "
58        FOR I=1 TO 3000:NEXT:CLS
60    REM ------------------------------------------------
70    REM            DIMENSIONIERUNG DER ARRAYS
80    REM ------------------------------------------------
90        DIM X(EP),Y(EP),Z(EP)
100       DIM BX(EP),BY(EP)
130       DIM K(AD,5)
140       DIM L(AD)
150       FOR I=1 TO EP: READ X(I),Y(I),Z(I):NEXT I
160       FOR I=1 TO AD: READ L(I)
170       FOR J=1 TO L(I) :READ K(I,J):NEXT J: NEXT I
180   REM ------------------------------------------------
190   REM        EINGABEFELD FUER BILDVERAENDERUNGEN
200   REM ------------------------------------------------
210       ALPHA=0       :REM DREHWINKEL 1
220       BETA=180      :REM DREHWINKEL 2
230       GAMMA=0       :REM DREHWINKEL 3
240       VX   =1       :REM VERSCHIEBUNG IN DER X-ACHSE
250       VY   =2350    :REM VERSCHIEBUNG IN DER Y-ACHSE
260       VZ   =1       :REM VERSCHIEBUNG IN DER Z-ACHSE
270       OB   =10      :REM BILDWINKEL (OBJEKTIVBRENNWEITE)
280       G    =300     :REM ABBILDUNGSGROESSE
290   REM ------------------------------------------------
300   REM     BILDPHASENZAHL DES ANIMATIONSVORGANGES
310   REM ------------------------------------------------
320       FOR ALPHA=90 TO 450 STEP 36 :REM 10 BILDPHASEN
330   REM ------------------------------------------------
340   REM            UMRECHNUNG DER BILDPUNKTE
350   REM ------------------------------------------------
360       GOSUB 700
```

```
370        FOR I=1 TO EP
380        X=X(I): Y=Y(I): Z=Z(I)
390        GOSUB 800
400        BX(I)=BX: BY(I)=BY
410        NEXT I
420        FOR I= 1 TO AD
430        FOR J=1 TO L(I)-1
440        S1=BX(K(I,J)): Z1=BY(K(I,J)): S2=BX(K(I,J+1))
450        Z2=BY(K(I,J+1))
460        PLOT S1,Z1: DRAW S2,Z2
470        NEXT J,I
472        FOR I=1 TO 1300:NEXT
473        REM HIER DRUCKBEFEHL EINFUEGEN!
475        CLS
480        NEXT ALPHA:END
700    REM ------------------------------------------------
705        DEG
730        SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
740        RETURN
800    REM ------------------------------------------------
810    REM                    PUNKTABBILDUNGEN
820    REM ------------------------------------------------
830        X1=X: Y1=CA*Y-SA*Z: Z1=SA*Y+CA*Z
840        X2=CB*X1-SB*Z1: Y2=Y1: Z2=SB*X1+CB*Z1
850        X3=CC*X2-SC*Y2: Y3=SC*X2+CC*Y2: Z3=Z2
860        X4=X3+VX: Y4=Y3+VY: Z4=Z3+VZ
870    REM ------------------------------------------------
880    REM                  PERSPEKTIVEBERECHNUNG
890    REM ------------------------------------------------
900        U=-X4/Y4*G
910        V=-Z4/Y4*G
920    REM ------------------------------------------------
930    REM        UMRECHNUNG AUF BILDSCHIRMKOORDINATEN
940    REM ------------------------------------------------
950        BX=320+OB*U
960        BY=200-OB*V
970        RETURN
1000 REM ---------------------------------------------
1010 REM -------- DATENSATZ DOPPELDECKER    --------
1020 REM ---------------------------------------------
1030 DATA 20,0,0, 130,0,0, 140,50,0, 130,60,0,-130,60,0
1040 DATA -140,50,0, -130,0,0, -20,0,0, -10,15,0, 10,15,0
1050 DATA 10,-10,-55, 100,-10,-55, 110,40,-55,  100,50,-55
1060 DATA 10,50,-55,-10,50,-55, -100,50,-55, -110,40,-55,-100,-10,-55
1070 DATA -10,-10,-55, -80,0,-55,-82,10,0, -88,40,-55, -90,50,0
1080 DATA 80,0,-55, 82,10,0, 88,40,-55, 90,50,0, 0,90,-35
1090 DATA 0,80,-30, -5,80,-35, 0,80,-40, 5,80,-35
1100 DATA 10,80,-45, -10,80,-45,  -10,80,-25, 10,80,-25, 15,60,-25
```



```
1110 DATA 15,60,-45, 10,60,-55, -10,60,-55, -15,60,-45, -15,60,-25
1120 DATA 0,60,-15, 0,0,-15, 15,-10,-20, 15,-20,-20, 10,-25,-20
1130 DATA -10,-25,-20, -15,-20,-20, -15,-10,-20, -15,-30,-25, -15,-30,-45
1140 DATA 15,-30,-45, 15,-30,-25, 10,-65,-25, -10,-65,-25, 0,-140,-45
1150 DATA 0,-140,-35, 0,-140,0, 0,-155,-5, 0,-155,-25, 0,-120,-5
1160 DATA 0,-100,-30, 0,-25,-15, 5,-100,-35, 60,-120,-35, 60,-130,-35
1170 DATA 60,-140,-35, 50,-150,-35, 20,-150,-35, 2,-130,-35, -2,-130,-35
1180 DATA -20,-150,-35,- 50,-150,-35, -60,-140,-35, -60,-130,-35, -60,-120,-
1190 DATA -5,-100,-35, -10,85,5, -30,85,-5, -40,85,-25, -40,85,-45
1200 DATA -30,85,-65, -10,85,-75, 10,85,-75, 30,85,-65, 40,85,-45
1210 DATA 40,85,-25, 30,85,-5, 10,85,5, 10,30,-55, 30,60,-85
1220 DATA 40,60,-85, -30,60,-85, -40,60,-85, -10,30,-55, 0,0,0
1230 DATA 0,0,0, 35,60,-75, 35,70,-80, 35,70,-90, 35,60,-95
1240 DATA 35,50,-90, 35,50,-80, -35,60,-75, -35,70,-80, -35,70,-90
1250 DATA -35,60,-90, -35,50,-90, -35,50,-80, 0,-135,-30, 0,-135,-20
1260 DATA 0,-135,-10, 0,-125,-10, 0,-125,-20
1270 REM ------------- 116 ECKPUNKTE ---------------------
1500 DATA 5,1,2,3,4,5
1510 DATA 5,5,6,7,8,9
1520 DATA 5,9,10,1,10,9
1530 DATA 5,11,12,13,14,15
1540 DATA 3,11,15,40
1550 DATA 5,16,17,18,19,20
1560 DATA 3,20,16,41
1570 DATA 4,22,21,24,23
1580 DATA 4,26,25,28,27
1590 DATA 5,29,30,31,32,33
1600 DATA 2,33,30
1610 DATA 2,29,32
1620 DATA 2,29,33
1630 DATA 5,34,35,36,37,34
1640 DATA 5,39,40,41,42,43
1650 DATA 5,43,44,38,37,44
1660 DATA 3,39,54,58
1670 DATA 3,37,38,39
1680 DATA 3,39,34,40
1690 DATA 4,35,41,42,35
1700 DATA 2,36,43
1710 DATA 4,38,55,59,66
1720 DATA 5,39,54,58,53,42
1730 DATA 4,48,59,58,11
1740 DATA 4,54,58,59,79
1750 DATA 2,20,58
1760 DATA 5,66,67,68,69,70
1770 DATA 5,70,71,72,73,74
1780 DATA 5,74,75,76,77,78
1790 DATA 2,78,79
1800 DATA 5,59,64,63,60,59
1810 DATA 5,59,58,62,61,60
1820 DATA 2,65,59
1830 DATA 5,59,52,43,42,53
1840 DATA 2,53,58
1850 DATA 5,80,81,82,83,84
1860 DATA 5,84,85,86,87,88
1870 DATA 5,88,89,90,91,80
1880 DATA 2,40,93
1890 DATA 5,93,94,96,95,41
1900 DATA 2,95,97
1910 DATA 2,93,92
1920 DATA 5,44,45,46,47,48
1930 DATA 5,48,49,50,51,45
1940 DATA 5,100,101,102,103,104
1950 DATA 3,104,105,100
1960 DATA 5,106,107,108,109,110
1970 DATA 3,110,111,106
1980 DATA 3,48,65,49
1990 DATA 4,112,113,114,115
2000 DATA 2,113,116
2010 DATA 2,41,16
2020 DATA 2,40,16
2030 REM ------ 52 Datenzeilen fuer Linien ----
```

Listing 5.15



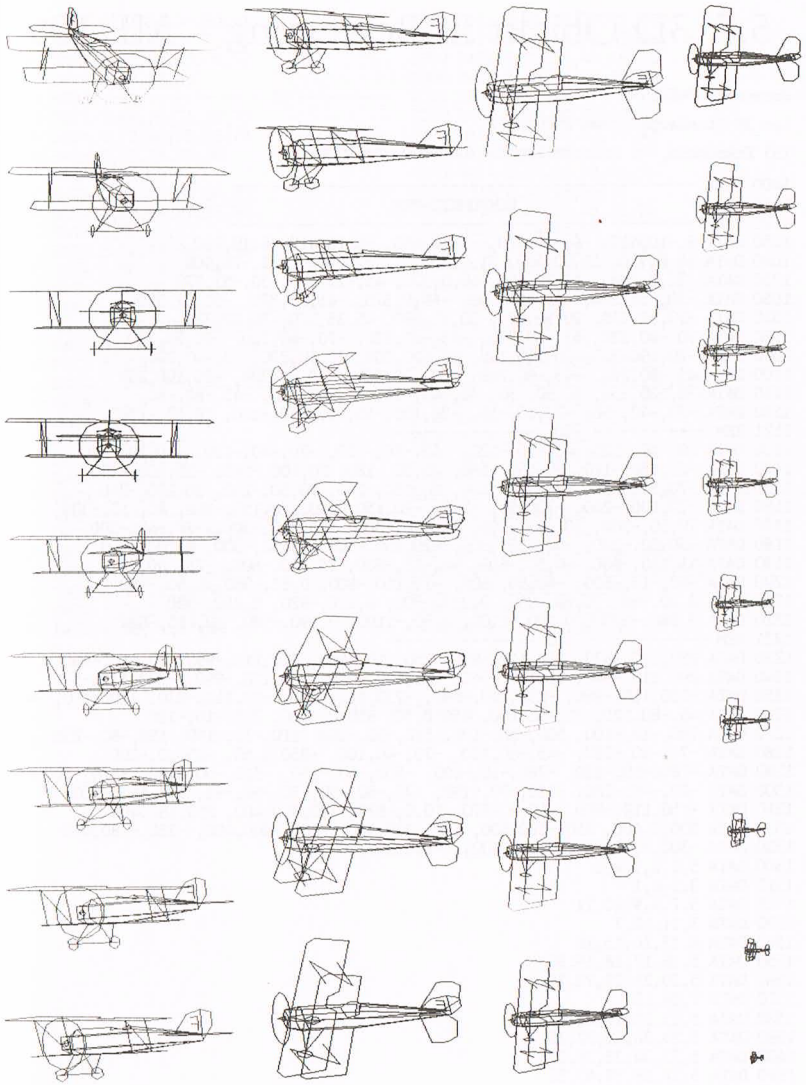


Bild 5.5 3D-Objekt Doppeldecker

5.7 3D-Objekt in Bewegung – ME 109

Datensatz "ME 109"

(an 3D-Standarprogramm anfügen!)

153 Eckpunkte, 76 Datenzeilen für Linienoperationen

```
1000  REM ---------------------------------------------------
1010  REM                    ECKPUNKTDATEN
1020  REM ---------------------------------------------------
1030 DATA 6,-10,410, -6,-10,410, -10,0,410, -6,10,410, 6,10,410
1040 DATA 10,0,410, 12,20,400, 21,0,400, 12,-20,400, -12,-20,400
1050 DATA -21,0,400, -12,20,400, 60,0,370, 45,-25,370, 30,-52,370
1060 DATA -30,-52,370, -45,-25,370, -60,0,370, -45,35,370, -30,52,370
1070 DATA -20,52,370, 20,52,370, 30,52,370, 45,35,370, 70,50,320
1080 DATA 70,-40,320, 45,-80,320, -45,-80,320, -70,-40,320, -70,50,320
1090 DATA -20,100,320, 20,100,320, 20,100,200, 70,50,200, 70,-40,200
1100 DATA 45,-80,200, -45,-80,200, -70,-40,200, -70,50,200, -20,100,200
1110 DATA 20,100,-50, 70,50,-50, 70,-40,-50, 45,-80,-50, -45,-80,-50
1120 DATA -70,-40,-50, -70,50,-50, -20,100,-50, 30,150,-120, 70,50,-120
1121 REM ------------  50  ---------------
1130 DATA 70,-40,-120, 45,-80,-120, -45,-80,-120, -70,-40,-120, -70,50,-120
1140 DATA -20,150,-120, 20,150,-180, 70,50,-180, 20,100,-180, -20,100,-180
1150 DATA -70,50,-180, -20,150,-180, 20,150,-240, 70,50,-240, 20,100,-240
1160 DATA -20,100,-240, -70, 50, -240, -20,150,-240, 20,150,-300, 40,110,-300
1170 DATA 70,50,-300, 70,-40,-300, 45,-80,-300, -45,-80,-300, -70,-40,-300
1180 DATA -70,50,-300, -40,110,-300, -20,150,-300, 0,150,-300, 0,200,-300
1190 DATA 11,110,-600, 40,50,-600, 40,-15,-600, 25,-40,-600, -25,-40,-600
1200 DATA -40,-15,-600, -40,50,-600, -11,110,-600, 0,65,-980, 0,50,-980
1210 DATA 0,20,-980, 0,80,-980, 0,210,-900, 0,220,-920, 0,240,-950
1220 DATA 0,240,-1000, 0,100,-1100, 0,50,-1100, 0,190,-980, 20,110,-820
1221 REM ------------  100  ---------------
1230 DATA 230,110,-870, 250,110,-890, 250,110,-960, 220,110,-990, 30,110,-990
1240 DATA 200,110,-940, 15,110,-940, -15,110,-940, -30,110,-990, -220,110,-990
1250 DATA -250,110,-960, -250,110,-890, -230,110,-870, -20,110,-820, -200,110,-940
1260 DATA 45,-80,120, 70,-40,100, 850,0,50, 850,0,-100, 780,-10,-130
1270 DATA 780,-10,-100, 500,-50,-130, 510,-50,-180, 110,-70,-190, 120,-80,-250
1280 DATA -70,-40,-280, -45,-80,120, -70,-40,100, -850,0,50, -850,0,-100
1290 DATA -780,-10,-130, -780,-10,-100, -500,-50,-130, -510,-50,-180, -120,-80,-250
1300 DATA -70,-40,-280, -110,-70,-190, -70,-60,-90, 70,-60,-90, 150,110,-900
1310 DATA -150,110,-900, -10,0,-870, 10,0,-870, 100,300,400, 250,180,400
1320 DATA 300,0,400, 250,-180,400, 100,-300,400, -100,-300,400, -250,-180,400
1330 DATA -300,0,400, -250,180,400,  -100,300,400
1500 DATA 5,1,2,3,4,5
1510 DATA 3,5,6,1
1520 DATA 5,7,8,9,10,11
1530 DATA 3,11,12,7
1540 DATA 4,13,14,15,16
1550 DATA 5,16,17,18,19,20
1560 DATA 5,20,21,22,23,24
1570 DATA 2,24,13
1580 DATA 5,25,26,27,28,29
1590 DATA 5,29,30,31,32,25
1600 DATA 5,33,34,35,36,37
1610 DATA 5,37,38,39,40,33
1630 DATA 5,41,42,43,44,45
1635 DATA 5,45,46,47,48,41
1640 DATA 5,49,50,51,52,53
1650 DATA 5,53,54,55,56,49
```



```
1670 DATA 5,57,58,59,60,61
1680 DATA 3,61,62,57
1690 DATA 5,63,64,65,66,67
1700 DATA 3,67,68,63
1701 REM ------------------ 20 ----------
1710 DATA 5,69,70,71,72,73
1720 DATA 5,73,74,75,76,77
1730 DATA 4,77,78,79,80
1740 DATA 2,79,69
1750 DATA 5,81,82,83,84,85
1760 DATA 5,85,86,87,88,81
1770 DATA 3,89,90,91
1780 DATA 5,92,93,94,95,96
1790 DATA 4,96,97,98,91
1800 DATA 3,94,99,91
1801 REM ------------------ 30 -----------
1810 DATA 5,100,101,102,103,104
1820 DATA 5,104,105,107,106,102
1830 DATA 5,114,113,112,111,110
1840 DATA 5,110,109,108,115,112
1850 DATA 4,1,9,15,27
1860 DATA 4,2,10,16,28
1870 DATA 3,3,11,18
1880 DATA 3,4,12,20
1890 DATA 3,5,7,23
1900 DATA 3,6,8,13
1901 REM ---------------- 40 ------------
1910 DATA 5,27,36,44,52,73
1920 DATA 3,73,84,91
1930 DATA 5,14,26,35,43,51
1940 DATA 4,51,72,83,91
1950 DATA 5,24,25,34,42,50
1960 DATA 4,50,71,82,90
1970 DATA 5,22,32,33,41,49
1980 DATA 5,49,57,63,69,89
1990 DATA 5,21,31,40,48,56
2000 DATA 5,56,62,68,78,89
2001 REM ---------------- 50 -------------
2010 DATA 5,19,30,39,47,55
2020 DATA 5,55,61,67,76,87
2030 DATA 2,87,90
2040 DATA 5,17,29,38,46,54
2050 DATA 4,54,75,86,91
2060 DATA 5,28,37,45,53,74
2070 DATA 3,74,85,91
2080 DATA 4,116,117,118,116
2090 DATA 5,118,119,120,123,125
2100 DATA 5,120,121,122,124,125
2101 REM ---------------- 60 ------------
2105 DATA 2,122,123
2110 DATA 2,125,126
2140 DATA 4,127,128,129,127
2150 DATA 5,129,130,131,134,135
2160 DATA 5,135,136,135,137,133
2170 DATA 3,133,137,135
2180 DATA 2,133,134
2185 DATA 2,131,132
2190 DATA 2,141,142
2191 REM ---------------- 70 ------------
2200 DATA 2,140,143
2205 DATA 2,100,114
2210 DATA 5,144,145,146,147,148
2220 DATA 5,148,149,150,151,152
2230 DATA 3,152,153,144
2240 DATA 4,41,59,65,69
2250 DATA 4,48,60,66,78
```

Listing 5.16

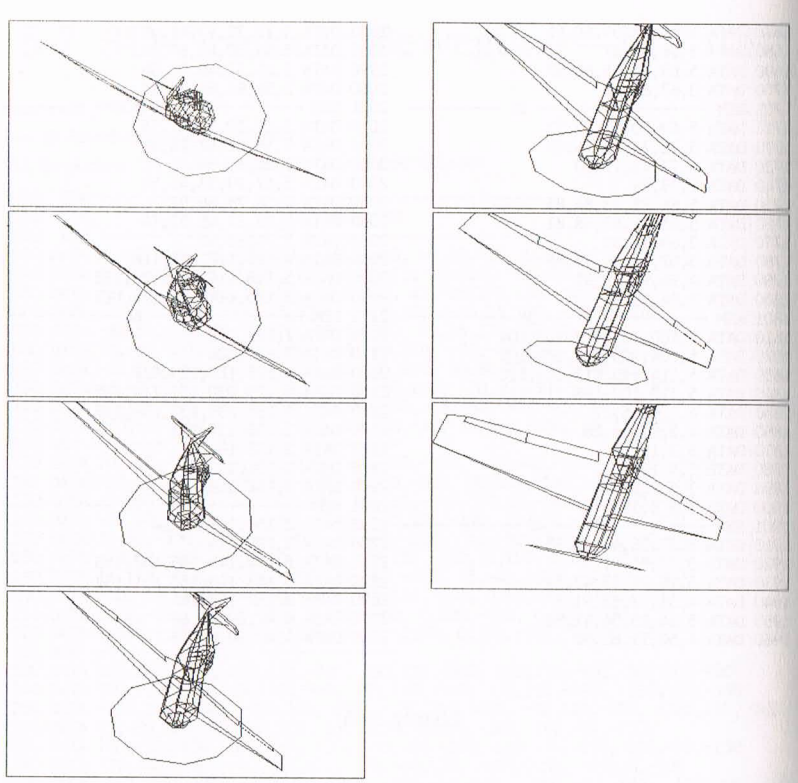


Bild 5.6 3D-Objekt ME 109

5.8 3D-Objekt in Bewegung – Raumgleiter

3D-Grafik Datensatz RAUMGLEITER RG1

```
1030      DATA 0,95,0, -10,30,5, -10,30,-5, -5,30,-10, 5,30,-10
1040      DATA 10,30,-5, 10,30,5, 5,30,10, -5,30,10, -5,0,10
1050      DATA -10,0,5, -16,0,5, -15,0,0, -15,0,-5, -10,0,-5
1060      DATA -10,0,0, -5,0,0, -5,0,5, 5,0,5, 5,0,0
1070      DATA -5,0,-5, 5,0,-5, 10,0,-5, 15,0,-5, 15,0,0
1080      DATA 15,0,5, 10,0,5, 10,0,0, 5,0,10, -5,0,-10
1090      DATA 5,0,-10, 5,-90,-5, 10,-90,-5, 15,-90,-5,15,-90,0
1100      DATA 15,-90,5, 10,-90,5, 5,-90,5, -5,-90,5, -10,-90,5
1110      DATA-15,-90,5, -15,-90,0, -15,-90,-5, -10,-90,-5, -5,-90,-5
1120      DATA-10,-90,0, -5,-90,0, 5,-90,0, 10,-90,0, 10,30,-25
1130      DATA 25,30,-10, 25,30,10, 10,30,25, -10,30,25, -25,30,10
1140      DATA-25,30,-10, -10,30,-25, -10,0,-25, -25,0,-10, -25,0,10
1150      DATA-10,0,25, 10,0,25, 25,0,10, 25,0,-10, 10,0,-25
1160      DATA-10,30,0, -90,-15,0, -15,-15,5, -15,-15,-5, 15,-15,5
1170      DATA 15,-15,-5, 90,-15,0, 10,30,0, -10,-20,5, -10,-100,20
1180      DATA 10,-20,5, 10,-100,20, -50,0,0, -50,-11,0, -46,-11,0
1190      DATA-46,-7,0, -42,-7,0, -42,-11,0, -38,-11,0, -38,-7,0
1200      DATA-40,-6,0, -38,-5,0, -38,-2,0, -40,0,0, -46,-2,0
1210      DATA-46,-5,0, -42,-5,0, -42,-2,0, -34,0,0, -36,-2,0
1220      DATA-36,-9,0, -34,-11,0, -25,-11,0, -23,-9,0, -23,-6,0
1230      DATA-28,-6,0, -28,-7,0, -27,-7,0, -27,-9,0, -30,-9,0
1240      DATA-30,-2,0, -27,-2,0, -27,-4,0, -23,-4,0, -23,-2,0
1250      DATA-25,0,0, -19,0,0, -21,-2,0, -21,-5,0, -19,-3,0
1260      DATA-19,-11,0, -15,-11,0, -15,0,0
1270  REM 118 ECKPUNKTE
1500  REM ------------------------------------------------
1510  REM                    LINIENDATEN
1520  REM ------------------------------------------------
1530      DATA 5,2,3,4,5,6
1540      DATA 5,6,7,8,9,2
1550      DATA 4,1,2,3,1
1560      DATA 4,1,4,5,1
1570      DATA 4,1,8,9,1
1580      DATA 5,10,11,12,13,14
1590      DATA 4,14,15,16,11
1600      DATA 5,13,16,17,28,25
1610      DATA 3,18,21,15
1620      DATA 5,19,20,22,23,28
1630      DATA 5,28,27,26,24,23
1640      DATA 5,10,29,27,26,12
1650      DATA 4,15,30,31,23
```

```
1660      DATA 4,9,10,11,2
1670      DATA 4,8,29,27,7
1680      DATA 4,6,23,31,5
1690      DATA 4,4,30,15,3
1700      DATA 4,12,41,39,18
1710      DATA 4,14,43,45,21
1720      DATA 4,22,32,34,24
1730      DATA 4,19,38,36,26
1740      DATA 2,16,46
1750      DATA 2,28,49
1760      DATA 5,41,36,34,32,48
1770      DATA 5,48,47,45,43,41
1780      DATA 2,42,35
1790      DATA 2,40,44
1800      DATA 2,39,45
1810      DATA 2,38,32
1820      DATA 2,37,33
1830      DATA 5,50,51,52,53,54
1840      DATA 5,54,55,56,57,50
1850      DATA 5,59,60,61,62,63
1860      DATA 5,63,64,65,58,59
1870      DATA 4,54,61,62,53
1880      DATA 4,55,60,59,56
1890      DATA 4,57,58,65,50
1900      DATA 4,52,63,64,51
1910      DATA 4,11,60,61,10
1920      DATA 4,29,62,63,27
1930      DATA 5,23,64,65,31,30
1940      DATA 4,30,58,59,15
1950      DATA 5,66,67,68,69,67
1960      DATA 5,73,72,70,71,72
1970      DATA 4,40,74,75,40
1980      DATA 4,37,76,77,37
1990      DATA 5,78,79,80,81,82
2000      DATA 5,82,83,84,85,86
2010      DATA 5,86,87,88,89,78
2020      DATA 5,90,91,92,93,90
2030      DATA 5,94,95,96,97,98
2040      DATA 5,98,99,100,101,102
2050      DATA 5,102,103,104,105,106
2060      DATA 5,106,107,108,109,110
2070      DATA 3,110,111,94
2080      DATA 5,112,113,114,115,116
2090      DATA 4,116,117,118,112
2100  REM 58 DATAZEILEN FUER LINIENZUEGE
```

Listing 5.17

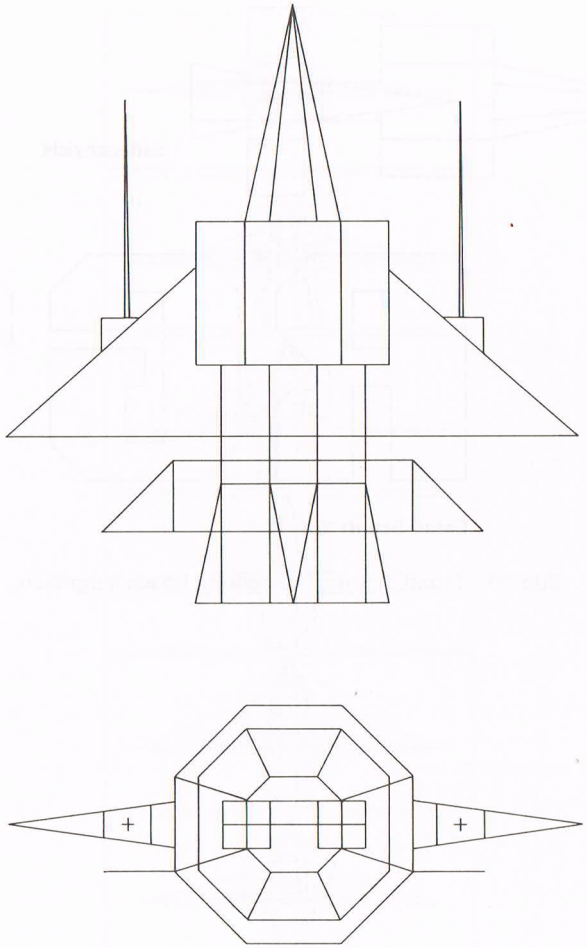


Bild 5.7 Konstruktionszeichnung für den Raumgleiter

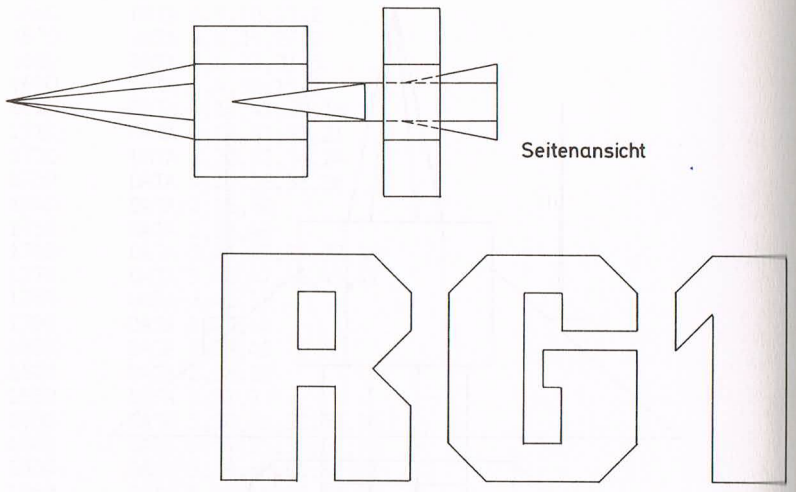


Bild 5.8 Detail Schrift: Darstellung 10fach vergrößert

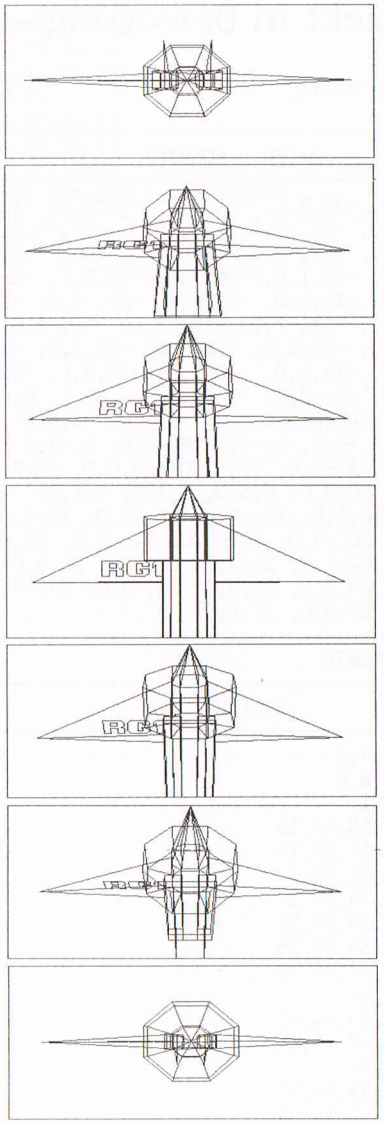


Bild 5.9 3D-Objekt Raumgleiter

5.9 3D-Objekt in Bewegung – Schriftzug

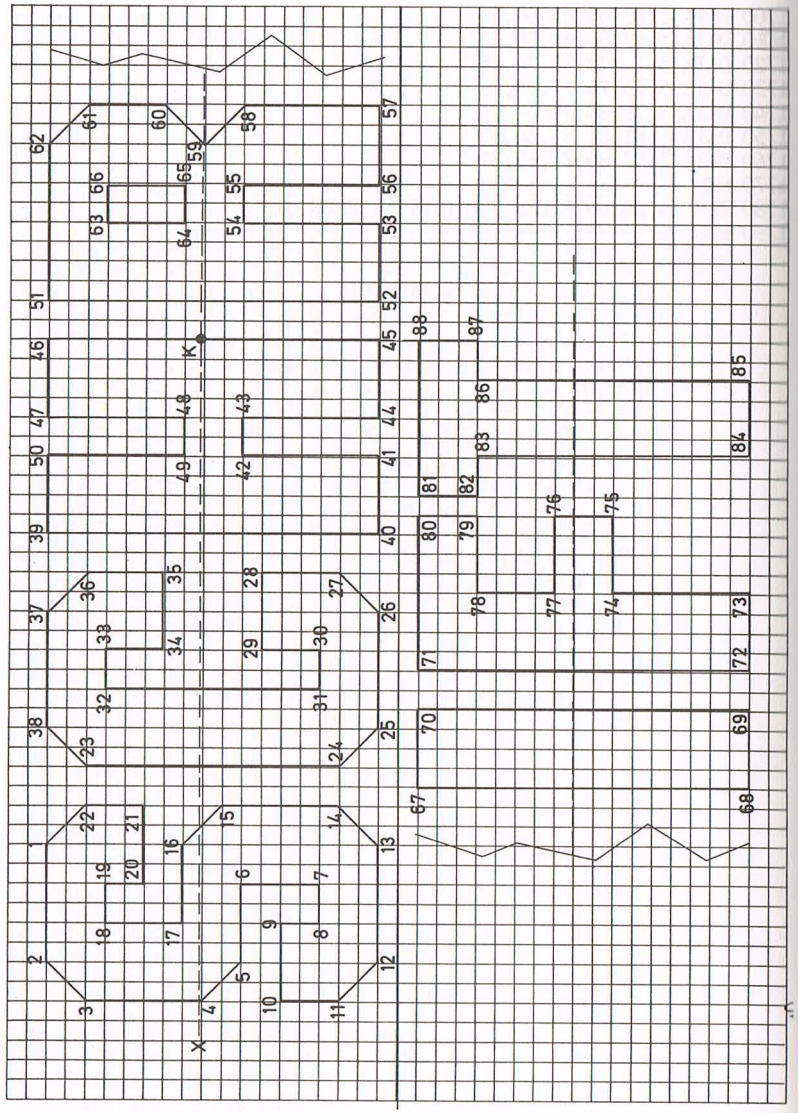
Datensatz "3D-Schriftzug"

```
1000  REM ------------------------------------------------
1010  REM              DATEN   SCHRIFT
1020  REM ------------------------------------------------
1030 DATA -26,8,0, -32,8,0, -34,6,0, -34,0,0, -32,-2,0
1040 DATA -28,-2,0, -28,-6,0, -30,-6,0, -30,-4,0, -34,-4,0
1050 DATA -34,-7,0, -32,-9,0, -26,-9,0, -24,-7,0, -24,-1,0
1060 DATA -26,1,0, -30,1,0, -30,5,0, -28,5,0, -28,3,0
1070 DATA -24,3,0, -24,6,0, -22,6,0, -22,-7,0, -20,-9,0
1080 DATA -14,-9,0, -12,-7,0, -12,-3,0, -16,-3,0, -16,-6,0
1090 DATA -18,-6,0, -18,5,0, -16,5,0, -16,2,0, -12,2,0
1100 DATA -12,6,0, -14,8,0, -20,8,0, -10,8,0, -10,-9,0
1110 DATA -6,-9,0, -6,-2,0, -4,-2,0, -4,-9,0, 0,-9,0
1120 DATA 0,8,0, -4,8,0, -4,1,0, -6,1,0, -6,8,0
1130 DATA 2,8,0, 2,-9,0, 6,-9,0, 6,-2,0, 8,-2,0
1140 DATA 8,-9,0, 12,-9,0, 12,-2,0, 10,0,0, 12,2,0
1150 DATA 12,6,0, 10,8,0, 6,5,0, 6,1,0, 8,1,0
1160 DATA 8,5,0, 14,8,0, 14,-9,0, 18,-9,0, 18,8,0
1170 DATA 20,8,0, 20,-9,0, 24,-9,0, 24,-2,0, 28,-2,0
1180 DATA 28,1,0, 24,1,0, 24,5,0, 28,5,0, 28,8,0
1190 DATA 29,8,0, 29,5,0, 31,5,0, 31,-9,0, 35,-9,0
1200 DATA 35,5,0, 37,5,0, 37,8,0
1210 REM ----------------------------------------
1220 REM  88 ECKPUNKTE
1500 REM ----------------------------------------
1510 REM                  LINIEN
1520 REM ----------------------------------------
1530 DATA 5,1,2,3,4,5
1540 DATA 5,5,6,7,8,9
1550 DATA 3,9,10,11
1560 DATA 5,11,12,13,14,15
1570 DATA 5,15,16,17,18,19
1580 DATA 5,19,20,21,22,1
1590 DATA 5,23,24,25,26,27
1600 DATA 5,27,28,29,30,31
1610 DATA 5,31,32,33,34,35
1620 DATA 5,35,36,37,38,23
1630 DATA 3,39,40,41
1640 DATA 5,41,42,43,44,45
1650 DATA 5,45,46,47,48,49
1660 DATA 3,49,50,39
1670 DATA 5,51,52,53,54,55
1680 DATA 5,55,56,57,58,59
1690 DATA 5,59,60,61,62,51
```



```
1700 DATA 5,63,64,65,66,63
1710 DATA 5,67,68,69,70,67
1720 DATA 5,71,72,73,74,75
1730 DATA 5,75,76,77,78,79
1740 DATA 3,79,80,71
1750 DATA 5,81,82,83,84,85
1760 DATA 5,85,86,87,88,81
1770 REM ----------------------------------------
1780 REM 24 DATENZEILEN ZUM LINIENZIEHEN
1790 REM ----------------------------------------
```

Listing 5.18



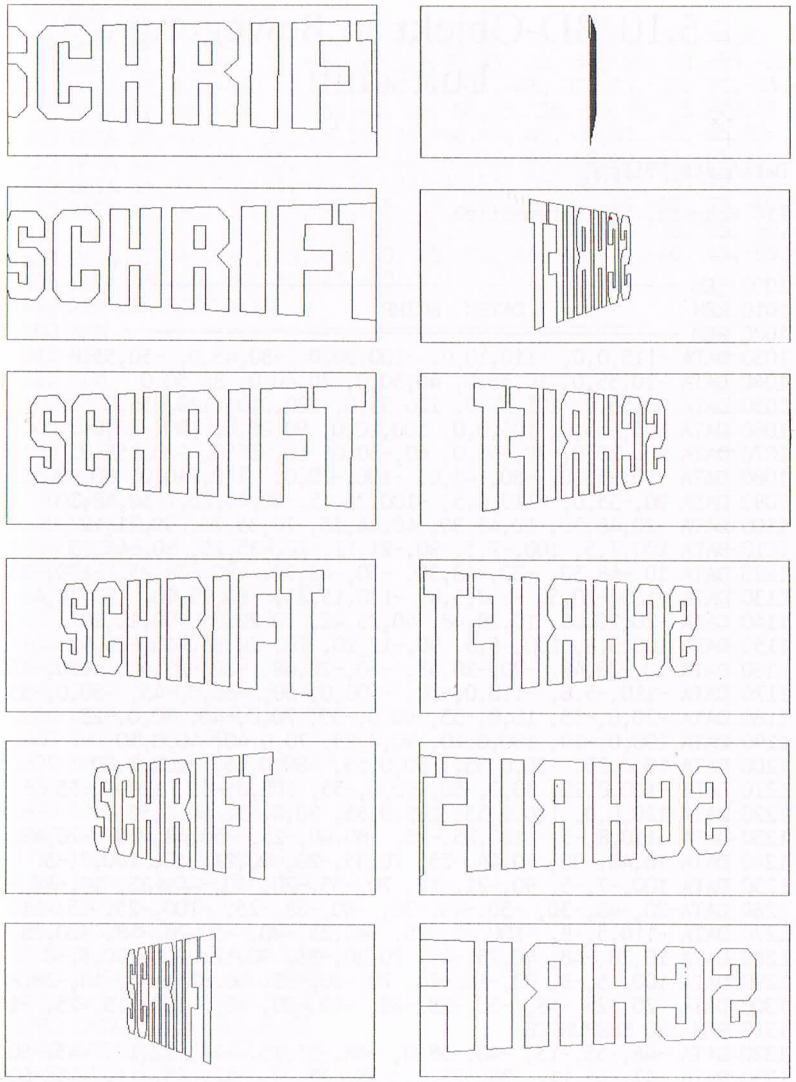


Bild 5.11 3D-Objekt Schriftzug

5.10 3D-Objekt in Bewegung – Luftschiff

Datensatz "Blimp"

214 Eckpkte, 113 Datenzeilen

```
1000 REM ----------
1010 REM                DATEN  BLIMP
1020 REM ----------
1030 DATA -115,0,0, -110,10,0, -100,30,0, -80,45,0, -50,55,0
1040 DATA -20,55,0, 10,55,0, 40,50,0, 70,40,0, 80,50,0
1050 DATA 90,55,0, 105,55,0, 120,55,0, 120,0,0, 120,-55,0
1060 DATA 105,-55,0, 105,0,0, 100,10,0, 90,25,0, 100,-10,0
1070 DATA 90,-25,0, 70,-40,0, 40,-50,0, 10,-55,0, -20,-55,0
1080 DATA -50,-55,0, -80,-45,0, -100,-30,0, -110,-10,0, 80,-50,0
1090 DATA 90,-55,0, -110,8,5, -100,25,15,-80,40,25, -50,48,30
1100 DATA -20,48,30, 10,48,30, 40,44,25, 70,35,20, 90,21,12
1110 DATA 100,7,5, 100,-7,5, 90,-21,12, 70,-35,20, 40,-44,25
1120 DATA 10,-48,30, -20,-48,30, -50,-48,30, -80,-38,25, -100,-25,15
1130 DATA -110,-10,5, -110,5,8, -100,15,25, -80,23,40, -50,28,48
1140 DATA -20,28,48, 10,28,48, 40,25,42, 70,20,35, 90,12,20
1150 DATA 100,5,8, 100,-5,8, 90,-12,20, 70,-20,35, 40,-25,42
1160 DATA 10,-28,48, -20,-28,48, -50,-28,48, -80,-23,40, -100,-15,25
1170 DATA -110,-5,8, -110,0,-10, -100,0,-30, -80,0,-45, -50,0,-55
1180 DATA -20,0,-55, 10,0,-55, 40,0,-50, 70,0,-40, 90,0,-25
1190 DATA 100,0,-10, 100,0,10, 90,0,25, 70,0,40, 40,0,50
1200 DATA 10,0,55, -20,0,55, -50,0,55, -80,0,45, -100,0,30
1210 DATA -110,0,10, 80,0,-50, 90,0,-55, 105,0,-55, 120,0,-55
1220 DATA 120,0,0, 120,0,55, 105,0,55, 90,0,55, 80,0,50
1230 DATA -110,8,-5, -100,25,-15, -80,40,-25, -50,48,-30, -20,48,-30
1240 DATA 10,48,-30, 40,44,-25, 70,35,-20, 90,21,-12, 100,7,-5
1250 DATA 100,-7,-5, 90,-21,-12, 70,-35,-20, 40,-44,-25, 10,-48,-30
1260 DATA-20,-48,-30, -50,-48,-30, -80,-38,-25, -100,-25,-15,-110,-10,-5
1270 DATA -110,5,-8, -100,15,-25, -80,25,-40, -50,28,-48, -20,28,-48
1280 DATA 10,28,-48, 40,25,-45, 70,20,-35, 90,12,-20, 100,5,-8
1290 DATA 100,-5,-8, 90,-12,-20, 70,-20,-35, 40,-25,-45, 10,-28,-48
1300 DATA -20,-28,-48, -50,-28,-48, -80,-23,-40, -100,-15,-25, -110,-5,
1310 REM 140 ECKPUNKTE
1320 DATA -48,-55,-15, -48,-58,0, -48,-55,15, -47,-52,13, -45,-60,12
1330 DATA -42,-65,11, -38,-75,9, -38,-75,-9, -42,-65,-11, -45,-60,-12
1340 DATA -47,-52,-13, -47,-52,-5, -47,-52,5, -42,-65,5, -42,-65,-5
1350 DATA 20,-53,15, 20,-55,0, 20,-53,-15, 10,-70,-5, 10,-70,5
1360 DATA 18,-57,13, 18,-57,-13
```



```
1370 REM 162 ECKPUNKTE
1375 DATA 32,-53,43, 32,-55,50, 32,-65,55, 32,-73,50, 32,-78,43
1380 DATA 32,-73,35, 32,-65,30, 32,-55,35, 32,-53,-43, 32,-55,-50
1390 DATA 32,-65,-55, 32,-73,-50, 32,-78,-43, 32,-73,-35, 32,-65,-30
1400 DATA 32,-55,-35, 30,-65,43, 35,-60,45, 35,-65,50, 35,-70,45
1405 DATA 35,-70,40, 35,-65,35, 35,-60,40, 45,-60,45, 45,-65,50
1410 DATA 45,-70,45, 45,-70,40, 45,-65,35, 45,-60,40, 55,-65,43
1415 DATA 35,-40,35, 55,-40,35, 35,-45,15, 55,-40,15, 35,-40,-35
1420 DATA 55,-40,-35, 35,-45,-15, 55,-40,-15, 30,-65,-43, 35,-60,-45
1425 DATA 35,-65,-50, 35,-70,-45, 35,-70,-40, 35,-65,-35, 35,-60,-40
1430 DATA 45,-60,-45, 45,-65,-50, 45,-70,-45, 45,-70,-40, 45,-65,-35
1435 DATA 45,-60,-40, 55,-65,-43
1440 REM 214 ECKPUNKTE
1500 REM ----------
1510 REM                LINIEN
1520 REM ----------
1530 DATA 5,1,2,3,4,5
1540 DATA 5,5,6,7,8,9
1550 DATA 5,9,10,11,12,13
1560 DATA 5,13,14,15,16,17
1570 DATA 4,17,18,19,9
1580 DATA 2,17,12
1590 DATA 5,17,16,31,30,22
1600 DATA 5,17,20,21,22,23
1610 DATA 5,23,24,25,26,27
1620 DATA 4,27,28,29,1
1630 DATA 5,1,72,73,74,75
1640 DATA 5,75,76,77,78,79
1650 DATA 5,79,92,93,94,95
1660 DATA 5,95,96,97,98,99
1665 DATA 2,99,100
1670 DATA 5,100,84,83,82,17
1680 DATA 4,17,81,80,79
1690 DATA 4,17,82,83,84
1700 DATA 3,98,17,94
1710 DATA 5,84,85,86,87,88
1720 DATA 5,88,89,90,91,1
1730 DATA 5,1,33,34,35,36
1740 DATA 5,36,37,38,39,40
1750 DATA 5,40,17,42,43,44
1760 DATA 5,44,45,46,47,48
1770 DATA 5,48,49,50,51,1
1780 DATA 5,1,52,53,54,55
1790 DATA 5,55,56,57,58,59
1800 DATA 5,59,60,61,17,62
1810 DATA 5,62,63,64,65,66
1820 DATA 5,66,67,68,69,70
1830 DATA 3,70,71,1
```

```
1840 DATA 5,101,102,103,104,105
1850 DATA 5,105,106,107,108,109
1860 DATA 5,109,110,111,112,113
1870 DATA 5,113,114,115,116,117
1880 DATA 5,117,118,119,120,1
1890 DATA 5,1,121,122,123,124
1900 DATA 5,124,125,126,127,128
1910 DATA 5,128,129,130,17,131
1920 DATA 5,131,132,133,134,135
1930 DATA 5,135,136,137,138,139
1940 DATA 3,139,140,1
1950 DATA 5,2,32,52,91,71
1960 DATA 5,71,51,29,120,140
1970 DATA 5,140,72,121,101,2
1980 DATA 5,3,33,53,90,70
1990 DATA 5,70,50,28,119,139
2000 DATA 5,139,73,122,102,3
2010 DATA 5,4,34,54,89,69
2020 DATA 5,69,49,27,118,138
2030 DATA 5,138,74,123,103,4
2040 DATA 5,5,35,55,88,68
2050 DATA 5,68,48,26,117,137
2060 DATA 5,137,75,124,104,5
2070 DATA 5,6,36,56,87,67
2080 DATA 5,67,47,25,116,136
2090 DATA 5,136,76,125,105,6
2100 DATA 5,7,37,57,86,66
2110 DATA 5,66,46,24,115,135
2120 DATA 5,135,77,126,106,7
2200 REM 140 ECKPUNKTE, 61 DATAZEILEN
2210 DATA 5,8,38,58,85,65
2220 DATA 5,65,45,23,114,134
2230 DATA 5,134,78,127,107,8
2240 DATA 5,9,39,59,84,64
2250 DATA 5,64,44,22,113,133
2260 DATA 5,133,79,128,108,9
2270 DATA 5,19,40,60,83,63
2280 DATA 5,63,43,21,112,132
2290 DATA 5,132,80,129,109,19
2300 DATA 5,18,41,61,82,62
2310 DATA 5,62,42,20,111,131
2320 DATA 5,131,81,130,110,18
2340 REM 73 DATENZEILEN
2350 DATA 5,141,142,143,144,145
2360 DATA 5,145,146,147,148,149
2370 DATA 5,149,150,151,141,142
2380 DATA 3,151,144,161
2390 DATA 2,150,145
```



```
2400 DATA 2,149,146
2410 DATA 2,152,155
2420 DATA 2,153,154
2430 DATA 5,143,156,161,160,159
2450 DATA 4,159,162,158,157
2560 DATA 2,157,156
2570 DATA 4,151,162,158,141
2580 DATA 5,147,160,159,148,147
2590 REM 86 DATENZEILEN
2600 DATA 5,163,164,165,166,167
2610 DATA 5,167,168,169,170,163
2620 DATA 5,171,172,173,174,175
2630 DATA 5,175,176,177,178,171
2640 DATA 5,179,180,181,182,183
2650 DATA 4,183,184,185,180
2655 DATA 5,186,187,188,189,190
2660 DATA 3,190,191,186
2665 DATA 4,179,180,186,192
2670 DATA 4,184,195,196,190
2675 DATA 4,179,182,188,192
2680 DATA 4,179,183,189,192
2685 DATA 4,179,184,190,192
2690 DATA 4,179,185,191,192
2695 DATA 4,185,193,194,191
2700 DATA 5,197,202,208,198,197
2710 DATA 5,199,203,209,200,199
2720 DATA 5,202,203,204,205,206
2730 DATA 3,206,207,202
2740 DATA 5,208,209,210,211,212
2750 DATA 3,212,213,208
2760 DATA 4,201,202,208,214
2770 DATA 4,201,203,209,214
2775 DATA 4,201,204,210,214
2780 DATA 4,201,205,211,214
2785 DATA 4,201,206,212,214
2790 DATA 4,201,207,213,214
2800 REM 113 DATENZEILEN
```

Listing 5.19

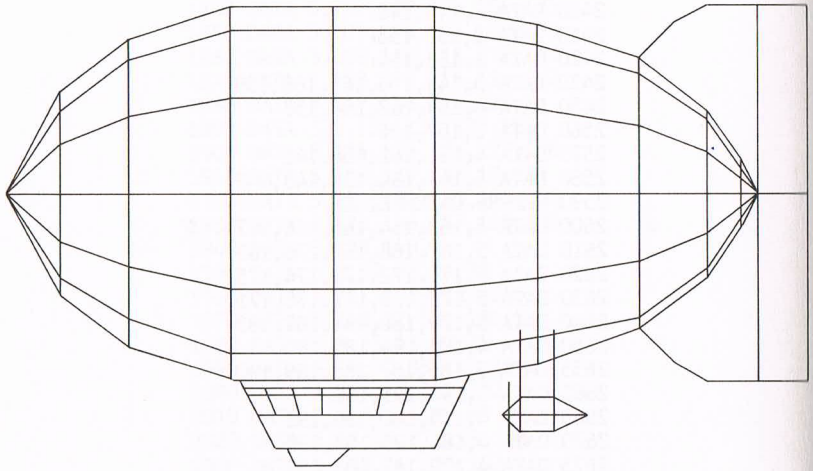


Bild 5.12 Konstruktionszeichnung Blimp

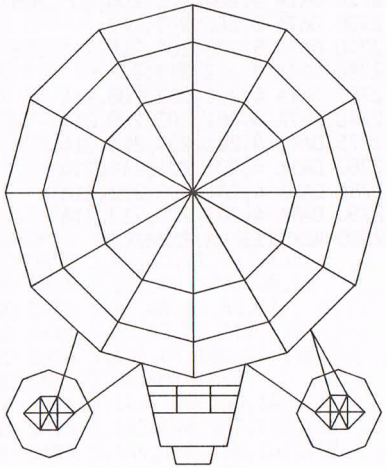


Bild 5.13 Vorderansicht Blimp

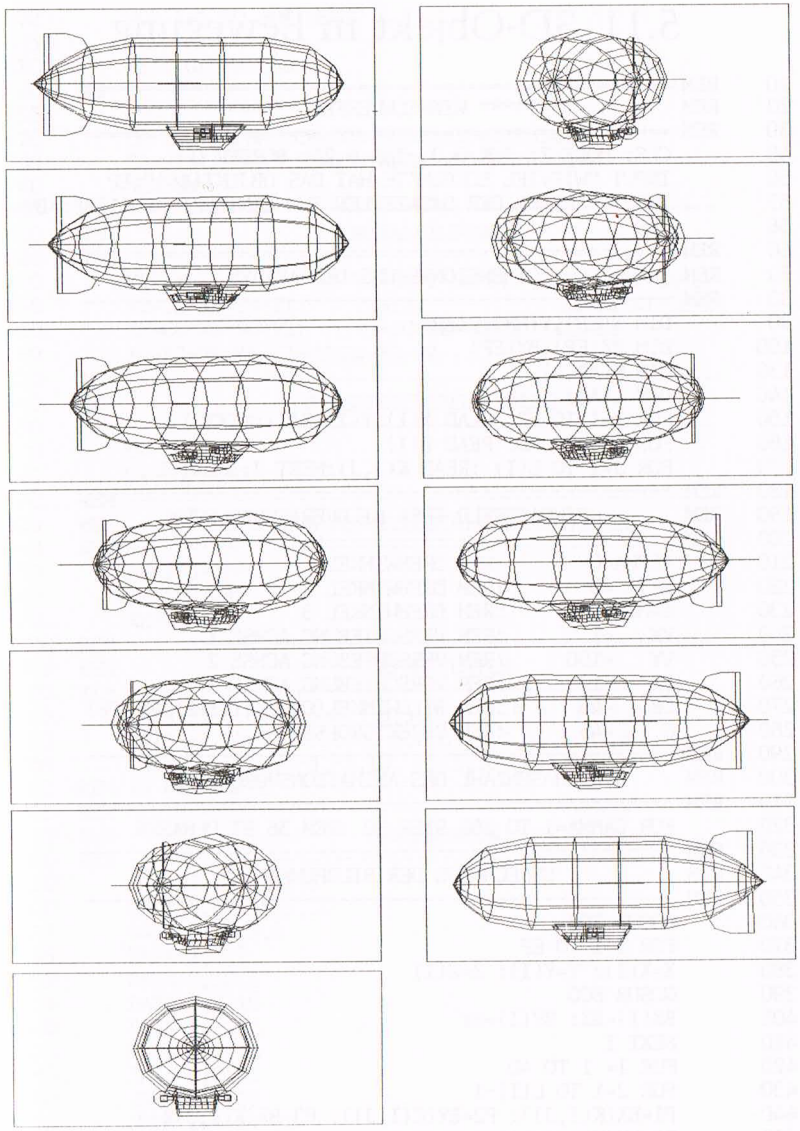


Bild 5.14 3D-Objekt Blimp in räumlicher Darstellung

5.11 3D-Objekt in Bewegung

```
10    REM ==================================================
20    REM              ***** WINKELWUERFEL  *****
30    REM ==================================================
40        CLS: MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: BORDER 0
50        INPUT "WIEVIEL ECKPUNKTE HAT DAS OBJEKT(14)";EP
55        INPUT "ANZAHL DER DATAZEILEN ZUM LINIENZIEHEN(12)";AD
56        CLS
60    REM ---------------------------------------------------
70    REM              DIMENSIONIERUNG DER ARRAYS
80    REM ---------------------------------------------------
90        DIM X(EP),Y(EP),Z(EP)
100       DIM BX(EP),BY(EP)
130       DIM K(AD,5)
140       DIM L(AD)
150       FOR I=1 TO EP: READ X(I),Y(I),Z(I):NEXT I
160       FOR I=1 TO AD: READ L(I)
170       FOR J=1 TO L(I) :READ K(I,J):NEXT J: NEXT I
180   REM ---------------------------------------------------
190   REM        EINGABEFELD FUER BILDVERAENDERUNGEN
200   REM ---------------------------------------------------
210       ALPHA=0        :REM DREHWINKEL 1
220       BETA =0        :REM DREHWINKEL 2
230       GAMMA=90       :REM DREHWINKEL 3
240       VX   =1        :REM VERSCHIEBUNG ACHSE 1
250       VY   =100      :REM VERSCHIEBUNG ACHSE 2
260       VZ   =1        :REM VERSCHIEBUNG ACHSE 3
270       OB   =45       :REM BILDWINKEL(OBJEKTIVBRENNWEITE)
280       G    =45       :REM OBJEKTGROESSE
290   REM ---------------------------------------------------
300   REM     BILDPHASENZAHL DES ANIMATIONSVORGANGES
310   REM ---------------------------------------------------
320       FOR GAMMA=1 TO 360 STEP 10 :REM 36 BILDPHASEN
330   REM ---------------------------------------------------
340   REM            UMRECHNUNG DER BILDPUNKTE
350   REM ---------------------------------------------------
360       GOSUB 700
370       FOR I=1 TO EP
380       X=X(I): Y=Y(I): Z=Z(I)
390       GOSUB 800
400       BX(I)=BX: BY(I)=BY
410       NEXT I
420       FOR I= 1 TO AD
430       FOR J=1 TO L(I)-1
440       P1=BX(K(I,J)): P2=BY(K(I,J)): P3=BX(K(I,J+1))
450       P4=BY(K(I,J+1))
460       PLOT P1,P2: DRAW P3,P4
470       NEXT J,I
```



```
472       FOR I=1 TO 300:NEXT
475       CLS
480       NEXT GAMMA:END
700   REM ---------------------------------------------------
705       DEG
720       CA=COS(ALPHA):CB=COS(BETA):CC=COS(GAMMA)
730       SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
740       RETURN
800   REM ---------------------------------------------------
810   REM                  PUNKTABBILDUNGEN
820   REM ---------------------------------------------------
830       X1=X:              Y1=CA*Y-SA*Z:     Z1=SA*Y+CA*Z
840       X2=CB*X1-SB*Z1:    Y2=Y1:            Z2=SB*X1+CB*Z1
850       X3=CC*X2-SC*Y2:    Y3=SC*X2+CC*Y2:   Z3=Z2
860       X4=X3+VX:Y4=Y3+VY:Z4=Z3+VZ
870   REM ---------------------------------------------------
880   REM                PERSPEKTIVEBERECHNUNG
890   REM ---------------------------------------------------
900       U=-X4/Y4*G
910       V=-Z4/Y4*G
920   REM ---------------------------------------------------
930   REM       UMRECHNUNG AUF BILDSCHIRMKOORDINATEN
940   REM ---------------------------------------------------
950       BX=320+OB*U
960       BY=100-OB*V
970       RETURN
1000  REM ---------------------------------------------------
1010  REM                   ECKPUNKTDATEN
1020  REM ---------------------------------------------------
1030      DATA 5,-5,0, 5,5,0, -5,5,0, -5,-5,0, 5,-2,0
1040      DATA -1,-2,0, -1,2,0, 5,2,0, 5,2,6, 5,-2,6
1050      DATA 5,-5,10, -5,-5,10, -5,5,10, 5,5,10
1060  REM 14 ECKPUNKTE
1500  REM ---------------------------------------------------
1510  REM                   LINIENDATEN
1520  REM ---------------------------------------------------
1530      DATA 5,1,4,3,2,8
1540      DATA 5,8,7,6,5,10
1542      DATA 3,10,9,8
1545      DATA 2,5,1
1550      DATA 2,10,6
1555      DATA 2,9,10
1560      DATA 2,7,9
1570      DATA 2,3,13
1580      DATA 2,2,14
1590      DATA 2,4,12
1600      DATA 2,1,11
1610      DATA 5,11,12,13,14,11
1620  REM 12 DATAZEILEN FUER LINIENZUEGE
```

Listing 5.20

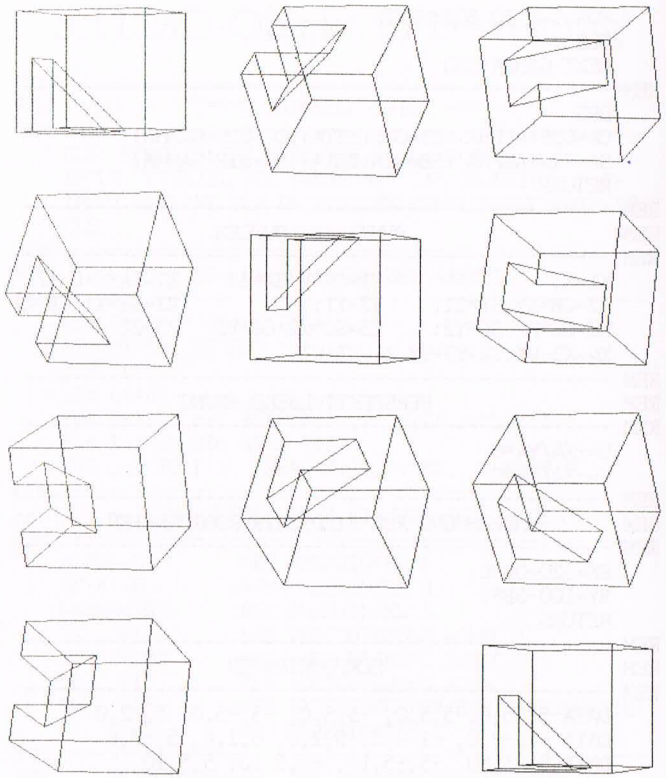


Bild 5.15 3D-Objekt Winkelwürfel, Drehung um eine Achse

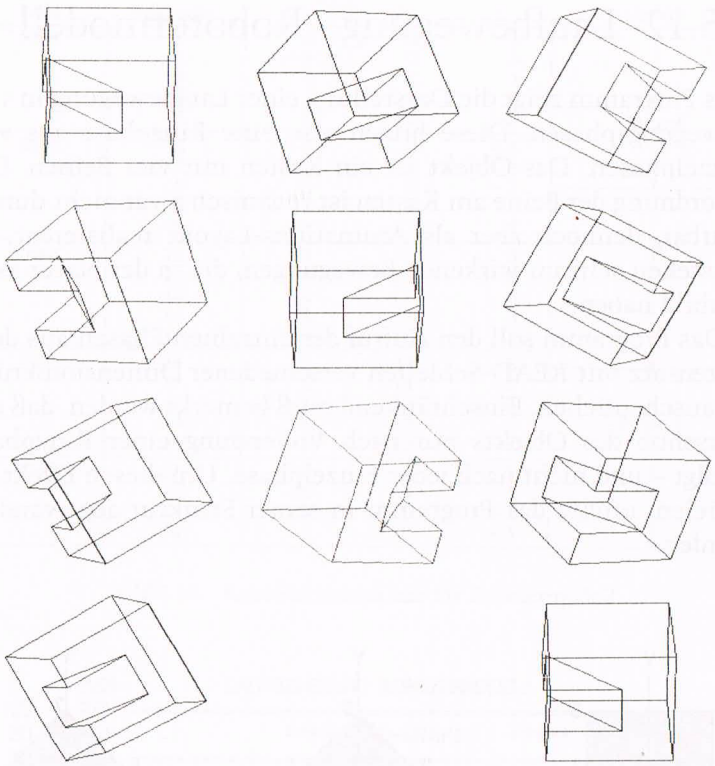


Bild 5.16 3D-Objekt Winkelwürfel, Drehung um zwei Achsen

5.12 Laufbewegung «Robotermodell»

Das Programm zeigt die Darstellung einer Laufbewegung in vier Bewegungsphasen. Diese bilden also eine Ringphase aus vier Einzelphasen. Das Objekt ist ein Kasten mit vier Beinen. Die Anordnung der Beine am Kasten ist technisch zwar nicht durchführbar, dennoch aber als Animations-Layout realisierbar. Es entstehen seltsam wirkende Bewegungen, die in der Natur kein Vorbild haben.

Das Programm soll den Aufruf der einzelnen Phasen aus dem Datensatz mit READ-Schleifen verschiedener Dimensionierung veranschaulichen. Einschränkend muß bemerkt werden, daß ein Vorschub des Objekts nur nach Vollendung einer Ringphase erfolgt – und nicht nach jeder Einzelphase. Um diesen Effekt zu erzielen, müßte das Programm in seiner Struktur abgewandelt werden.

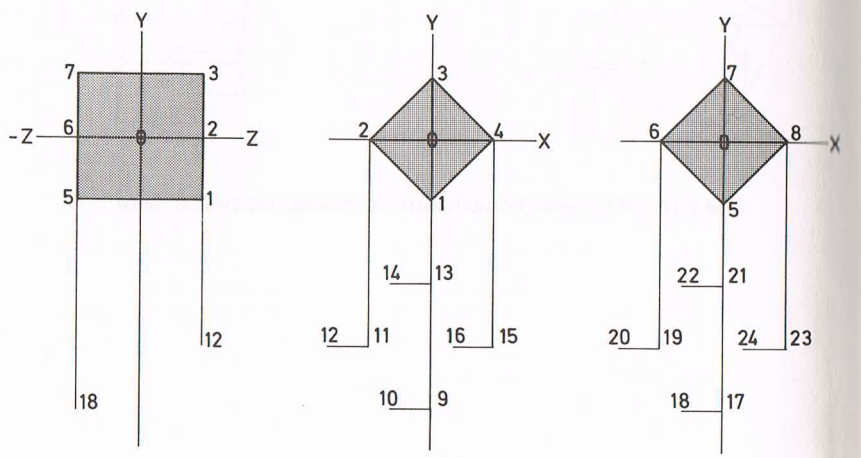


Bild 5.17 Eckpunktliste für das Robotermodell

Zeile	Eckpunkt	X	Y	Z	Objekt
1000	1	0	−3	3	Rumpf
	2	−3	0	3	
	3	0	3	3	
	4	3	0	3	
	5	0	−3	−3	
1010	6	−3	0	−3	
	7	0	3	3	
	8	3	0	−3	
	9	0	−13	3	Beine l.
	10	−2	−13	3	
1020	11	−3	−10	3	
	12	−5	−10	3	
	13	0	−7	3	
	14	−2	−7	3	
	15	3	−10	3	
1030	16	1	−10	3	Beine r.
	17	0	−13	−3	
	18	−2	−13	−3	
	19	−3	−10	−3	
	20	−5	−10	−3	
1040	21	0	−7	−3	
	22	−2	−7	−3	
	23	3	−10	−3	
	24	1	−10	−3	

Bild 5.18 Konstruktionsskizze für Robotermodell

```
5     REM          LAUFBEWEGUNG ROBOTERMODELL
10    REM ==============================================
20    REM              *****  3D-GRAFIK   *****
30    REM ==============================================
40        CLS: MODE 2: INK 0,0: INK 1,24: BORDER 0
50    REM  INPUT "WIEVIEL ECKPUNKTE HAT DAS OBJEKT";EP
55    REM  INPUT "ANZAHL DER DATAZEILEN ZUM LINIENZIEHEN";AD
56        CLS
58        EP=24:AD=32
60    REM ----------------------------------------------
70    REM            DIMENSIONIERUNG DER ARRAYS
80    REM ----------------------------------------------
90        DIM X(EP),Y(EP),Z(EP)
100       DIM BX(EP),BY(EP)
130       DIM K(AD,5)
140       DIM L(AD)
150       FOR I=1 TO EP: READ X(I),Y(I),Z(I):NEXT I
160       FOR I=1 TO AD: READ L(I)
170       FOR J=1 TO L(I) :READ K(I,J):NEXT J: NEXT I
180   REM ----------------------------------------------
```

```
190  REM        EINGABEFELD FUER BILDVERAENDERUNGEN
200  REM ------------------------------------------------
210      ALPHA=90      :REM DREHWINKEL 1
220      BETA=0        :REM DREHWINKEL 2
230      GAMMA=190     :REM DREHWINKEL 3
240      VX   =1       :REM VERSCHIEBUNG IN DER X-ACHSE
250      VY   =250     :REM VERSCHIEBUNG IN DER Y-ACHSE
260      VZ   =1       :REM VERSCHIEBUNG IN DER Z-ACHSE
270      AB   =28      :REM ABSTAND OBJEKT-BILDSCHIRM
280      E    =100     :REM BEOBACHTERENTFERNUNG
290  REM ------------------------------------------------
300  REM     BILDPHASENZAHL DES ANIMATIONSVORGANGES
305      AA=1:EE=8
310  REM ------------------------------------------------
320  REM FOR GAMMA=0 TO 360 STEP 10 :REM 36 BILDPHASEN
321      PRINT ALPHA:PRINT BETA:PRINT GAMMA
330  REM ------------------------------------------------
340  REM            UMRECHNUNG DER BILDPUNKTE
350  REM ------------------------------------------------
355      FOR W=1 TO 4
360      GOSUB 700
370      FOR I=1 TO EP
380      X=X(I): Y=Y(I): Z=Z(I)
390      GOSUB 800
400      BX(I)=BX: BY(I)=BY
410      NEXT I
420      FOR I=AA TO EE
430      FOR J=1 TO L(I)-1
440      S1=BX(K(I,J)): Z1=BY(K(I,J)): S2=BX(K(I,J+1))
450      Z2=BY(K(I,J+1))
460      PLOT S1,Z1: DRAW S2,Z2
470      NEXT J:NEXT I
475      AA=AA+8:EE=EE+8
478      CLS
480      NEXT W
690      END
700  REM ------------------------------------------------
705      DEG
720      CA=COS(ALPHA):CB=COS(BETA):CC=COS(GAMMA)
730      SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
740      RETURN
800  REM ------------------------------------------------
810  REM                  PUNKTABBILDUNGEN
820  REM ------------------------------------------------
830      X1=X: Y1=CA*Y-SA*Z: Z1=SA*Y+CA*Z
840      X2=CB*X1-SB*Z1: Y2=Y1: Z2=SB*X1+CB*Z1
850      X3=CC*X2-SC*Y2: Y3=SC*X2+CC*Y2: Z3=Z2
860      X4=X3+VX: Y4=Y3+VY: Z4=Z3+VZ
```



```
870  REM ------------------------------------------------
880  REM                PERSPEKTIVEBERECHNUNG
890  REM ------------------------------------------------
900      U=-X4/Y4*E
910      V=-Z4/Y4*E
920  REM ------------------------------------------------
930  REM       UMRECHNUNG AUF BILDSCHIRMKOORDINATEN
940  REM ------------------------------------------------
950      BX=320+AB*U: BY=200-AB*V
998      RETURN
1000 DATA 0,-3,3, -3,0,3, 0,3,3, 3,0,3, 0,-3,-3
1010 DATA -3,0,-3, 0,3,-3, 3,0,-3, 0,-13,3, -2,-13,3
1020 DATA -3,-10,3, -5,-10,3, 0,-7,3, -2,-7,3, 3,-10,3
1030 DATA 1,-10,3, 0,-13,-3, -2,-13,-3, -3,-10,-3, -5,-10,-3
1040 DATA 0,-7,-3, -2,-7,-3, 3,-10,-3, 1,-10,-3
1041 REM -------------- 24 ECKPUNKTE ----------------------
1499 REM ---------- PHASE 1
1500 DATA 5,1,2,3,4,1
1510 DATA 5,5,6,7,8,5
1520 DATA 2,3,7
1530 DATA 2,2,6
1540 DATA 2,1,5
1550 DATA 2,4,8
1560 DATA 3,1,9,10
1570 DATA 3,7,21,22
1571 REM ---------- PHASE 2
1580 DATA 5,1,2,3,4,1
1590 DATA 5,5,6,7,8,5
1600 DATA 2,3,7
1610 DATA 2,2,6
1620 DATA 2,1,5
1630 DATA 2,4,8
1640 DATA 3,6,19,20
1650 DATA 3,8,23,24
1651 REM ---------- PHASE 3
1660 DATA 5,1,2,3,4,1
1670 DATA 5,5,6,7,8,5
1680 DATA 2,3,7
1690 DATA 2,2,6
1700 DATA 2,1,5
1710 DATA 2,4,8
1720 DATA 3,3,13,14
1730 DATA 3,5,17,18
1731 REM ---------- PHASE 4
1740 DATA 5,1,2,3,4,1
1750 DATA 5,5,6,7,8,5
1760 DATA 2,3,7
1770 DATA 2,2,6
1780 DATA 2,1,5
1790 DATA 2,4,8
1800 DATA 3,4,15,16
1810 DATA 3,6,19,20
```

Listing 5.21

5.13 3D-Roboterlaufbewegung

Ähnlich wie im vorherigen Programm werden auch hier vier Einzelphasen zu einer Ringphase zusammengefaßt. Das Programm soll eine von vielen Möglichkeiten aufzeigen, um Animationsvorgänge im figürlichen Bereich zu realisieren.

Die Figur ist etwas komplexer gehalten, um die Menge der hierzu benötigten Daten richtig einschätzen zu lernen – eine richtig durchgezeichnete Figur benötigt beachtliche Datenmengen.

Auch hier erfolgt die Verschiebung der Figur erst nach Vollendung der Ringphase. Die perspektivische Darstellung der Figur mag Hinweise auf die Designmöglichkeiten in diesem Bereich geben. Ferner ist noch keine Teilanimation von Gliedmaßen an der Figur in das Programm eingebaut. Hierfür sind andere Programmstrukturen erforderlich.

Dieses Programm soll mehr der experimentellen Untersuchung dienen, als dem optimalen Layout einer 3D-Figur entsprechen. Die Algorithmen können zur Darstellung weiterer Objekte herangezogen und individuell erweitert werden.

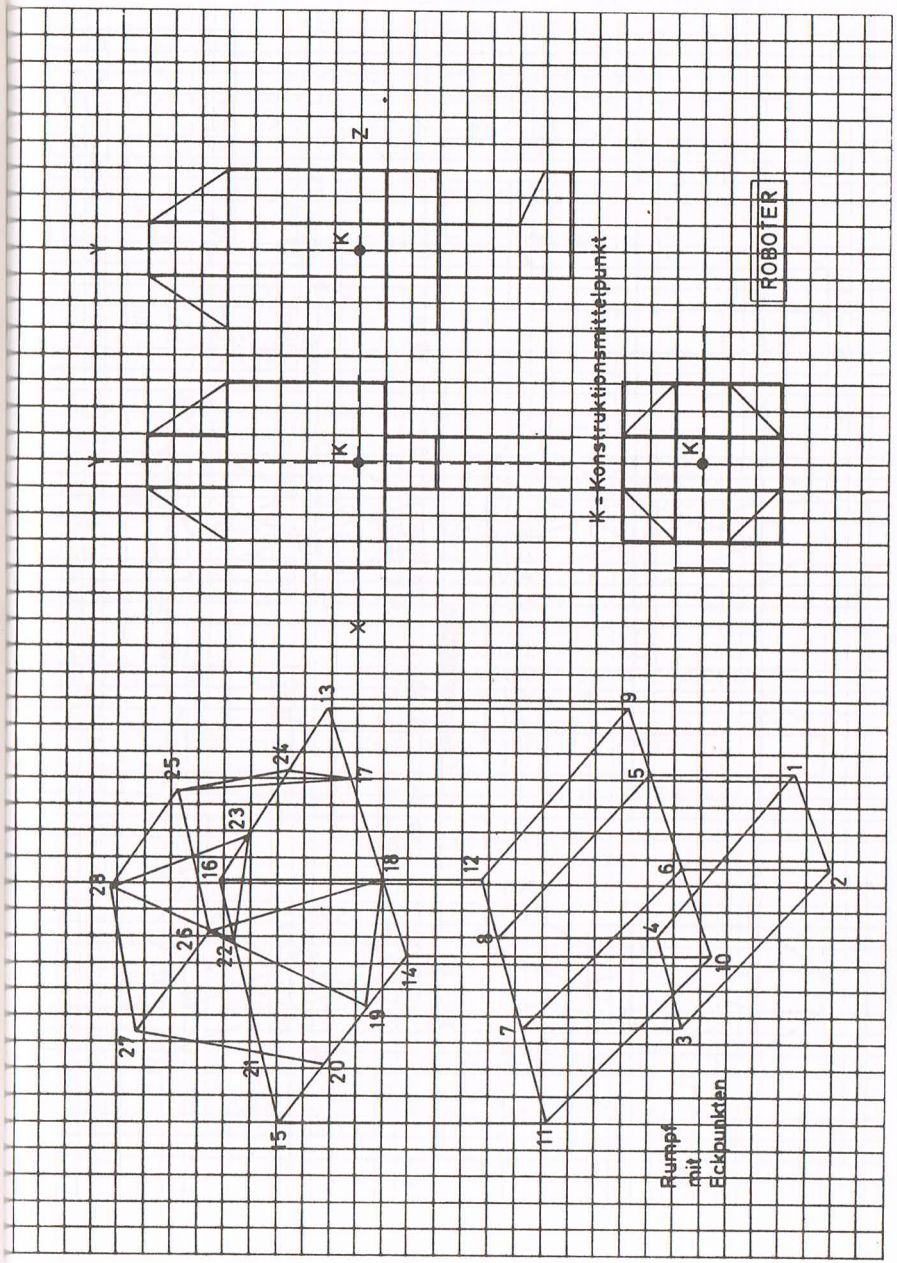


Bild 5.19 Konstruktionsskizze für den Roboterlauf

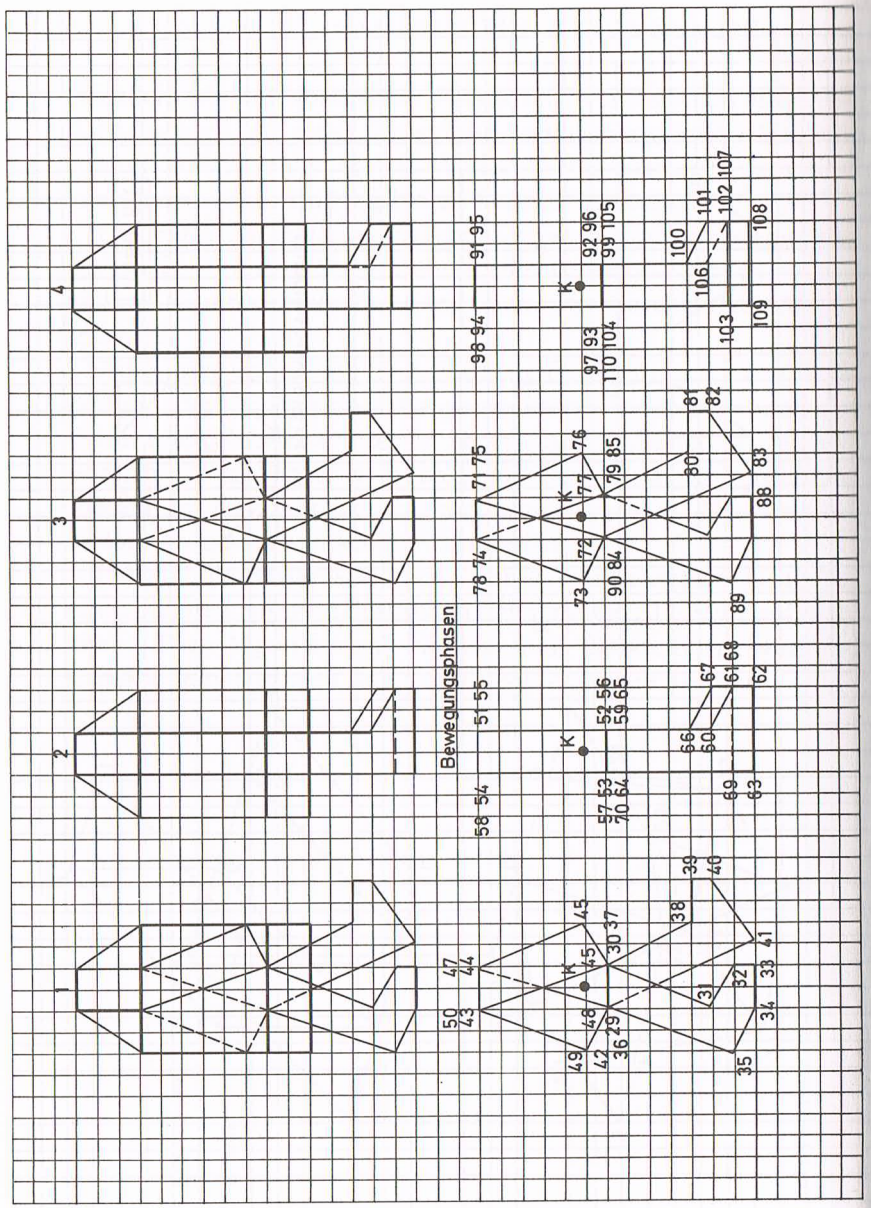


Bild 5.20 Phasenschritt der Rot- und Aufbewegung


```
                 ------------------------------------------------
                        3D- ROBOTERLAUFBEWEGUNG
10    REM ==================================================
20    REM          RINGPHASENANIMATION IN 4 PHASEN
30    REM ==================================================
40        CLS: MODE 2: INK 0,0: INK 1,14: BORDER 1
60        EP=110:AD=104 :REM ANZAHL ECKPUNKTE UND LINIEN
70        LOCATE 10,2
75        PRINT"DATEN WERDEN BERECHNET!"
80    REM ------------------------------------------------
90    REM             DIMENSIONIERUNG DER ARRAYS
100   REM ------------------------------------------------
110       DIM X(EP),Y(EP),Z(EP)
120       DIM BX(EP),BY(EP)
130       DIM K(AD,5)
140       DIM L(AD)
150       FOR I=1 TO EP: READ X(I),Y(I),Z(I):NEXT I
160       FOR I=1 TO AD: READ L(I)
170       FOR J=1 TO L(I) :READ K(I,J):NEXT J: NEXT I
180   REM ------------------------------------------------
190   REM        EINGABEFELD FUER BILDVERAENDERUNGEN
200   REM ------------------------------------------------
210       ALPHA=270       :REM DREHWINKEL 1
220       BETA =0         :REM DREHWINKEL 2
230       GAMMA=0         :REM DREHWINKEL 3
240       VX   =1         :REM VERSCHIEBUNG IN DER X-ACHSE
250       VY   =170       :REM VERSCHIEBUNG IN DER Y-ACHSE
260       VZ   =-20       :REM VERSCHIEBUNG IN DER Z-ACHSE
270       OB   =4         :REM BILDWINKEL (OBJEKTIVBRENNWEITE)
280       G    =900       :REM OBJEKTGROESSE
290   REM ------------------------------------------------
300   REM     BILDPHASENZAHL DES ANIMATIONSVORGANGES
310   REM ------------------------------------------------
320       FOR GAMMA=0 TO 360 STEP 36 :REM 10 RINGPHASEN
330   REM ------------------------------------------------
340   REM           UMRECHNUNG DER BILDPUNKTE
350   REM ------------------------------------------------
360       GOSUB 510
370       FOR I=1 TO EP
380       X=X(I): Y=Y(I): Z=Z(I)
390       GOSUB 560
400       BX(I)=BX: BY(I)=BY
410       NEXT I
411       CLS
420       FOR I= 1 TO 26  :REM ABBILDUNG PHASE 1
430       FOR J=1 TO L(I)-1
440       P1=BX(K(I,J)): P2=BY(K(I,J)): P3=BX(K(I,J+1))
450       P4=BY(K(I,J+1))
460       PLOT P1,P2,1: DRAW P3,P4
```

```
470      NEXT J,I:GOSUB 490:CLS
471      FOR I=27 TO 52  :REM ABBILDUNG PHASE 2
472      FOR J=1 TO L(I)-1
473      P1=BX(K(I,J)):P2=BY(K(I,J)):P3=BX(K(I,J+1)):P4=BY(K(I,J+1))
474      PLOT P1,P2:DRAW P3,P4:NEXT J,I:GOSUB 490:CLS
475      FOR I=53 TO 78  :REM ABBILDUNG PHASE 3
476      FOR J=1 TO L(I)-1
477      P1=BX(K(I,J)):P2=BY(K(I,J)):P3=BX(K(I,J+1)):P4=BY(K(I,J+1))
478      PLOT P1,P2:DRAW P3,P4
479      NEXT J,I:GOSUB 490:CLS
480      FOR I=79 TO 104  :REM ABBILDUNG PHASE 4
481      FOR J=1 TO L(I)-1
482      P1=BX(K(I,J)):P2=BY(K(I,J)):P3=BX(K(I,J+1)):P4=BY(K(I,J+1))
483      PLOT P1,P2:DRAW P3,P4
484      NEXT J,I:GOTO 500
490      FOR I=1 TO 3000:NEXT:RETURN
500      NEXT GAMMA:END
510  REM ---------------------------------------------------
520      DEG
530      CA=COS(ALPHA):CB=COS(BETA):CC=COS(GAMMA)
540      SA=SIN(ALPHA):SB=SIN(BETA):SC=SIN(GAMMA)
550      RETURN
560  REM ---------------------------------------------------
570  REM                    PUNKTABBILDUNGEN
580  REM ---------------------------------------------------
590      X1=X: Y1=CA*Y-SA*Z: Z1=SA*Y+CA*Z
600      X2=CB*X1-SB*Z1: Y2=Y1: Z2=SB*X1+CB*Z1
610      X3=CC*X2-SC*Y2: Y3=SC*X2+CC*Y2: Z3=Z2
620      X4=X3+VX: Y4=Y3+VY: Z4=Z3+VZ
630  REM ---------------------------------------------------
640  REM                  PERSPEKTIVEBERECHNUNG
650  REM ---------------------------------------------------
660      U=X4/Y4*G
670      V=Z4/Y4*G
680  REM ---------------------------------------------------
690  REM        UMRECHNUNG AUF BILDSCHIRMKOORDINATEN
700  REM ---------------------------------------------------
710      BX=290+OB*U
720      BY=-230-OB*V
730      RETURN
740  REM ---------------------------------------------------
750  REM                    ECKPUNKTDATEN
760  REM ---------------------------------------------------
765  REM -------- RUMPF ----------
770     DATA 1,-3,3, -1,-3,3, -1,-3,-3, 1,-3,-3, 1,-1,3
780     DATA -1,-1,3, -1,-1,-3, 1,-1,-3, 3,-1,3, -3,-1,3
790     DATA -3,-1,-3, 3,-1,-3, 3,5,3, -3,5,3, -3,5,-3
800     DATA 3,5,-3, 1,5,3, -1,5,3, -3,5,1, -3,5,-1
```



```
810     DATA -1,5,-3, 1,5,-3, 3,5,-1, 3,5,1, 1,8,1
820     DATA -1,8,1, -1,8,-1, 1,8,-1
830  REM -------- PHASE 1 -------
840     DATA -1,-1,-1, -1,-1,1, -1,-5,-1, -1,-6,1, -1,-7,1
850     DATA -1,-7,-1, -1,-6,-3, 1,-1,-1, 1,-1,1, 1,-4,3
860     DATA 1,-4,5, 1,-5,5, 1,-7,2, 1,-1,-1,-4,5,-1
870     DATA -4,5,1, -4,0,3, -4,-1,1, 4,5,1, 4,-1,-1
880     DATA 4,0,-3, 4,5,-1
882  REM -------- PHASE 2 --------
883     DATA -4,5,1, -4,-1,1, -4,-1,-1, -4,5,-1, 4,5,1
884     DATA 4,-1,1, 4,-1,-1,  4,5,-1, -1,-1,1, -1,-6,1
885     DATA -1,-7,3, -1,-8,3, -1,-8,-1, -1,-1,-1, 1,-1,1
886     DATA 1,-5,1, 1,-6,3, 1,-7,3, 1,-7,-1, 1,-1,-1
887  REM -------- PHASE 3 --------
888     DATA -4,5,1, -4,-1,-1, -4,0,-3, -4,5,-1, 4,5,1
889     DATA 4,0,3, 4,-1,1, 4,5,-1, -1,-1,1, -1,-5,3
890     DATA -1,-5,5, -1,-6,5, -1,-8,2, -1,-1,-1, 1,-1,1
891     DATA 1,-5,-1, 1,-7,1, 1,-8,1, 1,-7,-3, 1,-1,-1
893  REM -------- PHASE 4 --------
894     DATA -4,5,1, -4,-1,1, -4,-1,-1, -4,5,-1, 4,5,1
895     DATA 4,-1,1, 4,-1,-1, 4,5,-1, -1,-1,1, -1,-5,1
896     DATA -1,-6,3, -1,-7,3, -1,-7,-1, -1,-1,-1, 1,-1,1
897     DATA 1,-6,1, 1,-7,3, 1,-8,3, 1,-8,-1, 1,-1,-1
898  REM -------- 110 ECKPUNKTE -------
1298 REM ---------------------------------------------------
1299 REM                       LINIEN
1300 REM ---------------------------------------------------
1301 REM ---- PHASE 1 -----
1305     DATA 5,1,2,3,4,1
1310     DATA 5,5,6,7,8,5
1315     DATA 2,6,2
1320     DATA 2,5,1
1325     DATA 2,3,7
1330     DATA 2,4,8
1335     DATA 5,9,10,11,12,9
1340     DATA 5,13,14,15,16,13
1345     DATA 2,13,9
1350     DATA 2,14,10
1355     DATA 2,15,11
1360     DATA 2,16,12
1365     DATA 5,17,18,26,25,17
1370     DATA 5,19,20,27,26,19
1375     DATA 5,21,22,28,27,21
1380     DATA 5,23,24,25,28,23
1385     DATA 2,18,19
1390     DATA 2,20,21
1391     DATA 2,22,23
1392     DATA 2,24,17
```

```
1393      DATA 5,29,30,31,32,33
1394      DATA 4,33,34,35,29
1395      DATA 5,36,37,38,39,40
1396      DATA 3,40,41,36
1397      DATA 5,43,44,45,46,43
1398      DATA 5,47,48,49,50,47
1399 REM ----- PHASE 2 -------
1400      DATA 5,1,2,3,4,1
1410      DATA 5,5,6,7,8,5
1420      DATA 2,6,2
1430      DATA 2,5,1
1450      DATA 2,3,7
1460      DATA 2,4,8
1470      DATA 5,9,10,11,12,9
1480      DATA 5,13,14,15,16,13
1490      DATA 2,13,9
1500      DATA 2,14,10
1510      DATA 2,15,11
1520      DATA 2,16,12
1530      DATA 5,17,18,26,25,17
1540      DATA 5,19,20,27,26,19
1550      DATA 5,21,22,28,27,21
1560      DATA 5,23,24,25,28,23
1570      DATA 2,18,19
1580      DATA 2,20,21
1590      DATA 2,22,23
1600      DATA 2,24,17
1610      DATA 5,51,52,53,54,51
1620      DATA 5,55,56,57,58,55
1630      DATA 5,59,60,61,62,63
1640      DATA 3,63,64,59
1650      DATA 5,65,66,67,68,69
1660      DATA 3,69,70,65
1670      REM 26 LINIENZEILEN
1680      REM -------- PHASE 3 ---------
1690      DATA 5,1,2,3,4,1
1700      DATA 5,5,6,7,8,5
1705      DATA 2,6,2
1710      DATA 2,5,1
1715      DATA 2,3,7
1720      DATA 2,4,8
1725      DATA 5,9,10,11,12,9
1730      DATA 5,13,14,15,16,13
1735      DATA 2,13,9
1740      DATA 2,14,10
1745      DATA 2,15,11
1746      DATA 2,16,12
1747      DATA 5,17,18,26,25,17
```



```
1748      DATA 5,19,20,27,26,19
1749      DATA 5,21,22,28,27,21
1750      DATA 5,23,24,25,28,23
1751      DATA 2,18,19
1752      DATA 2,20,21
1753      DATA 2,22,23
1754      DATA 2,24,17
1755      DATA 5,71,72,73,74,71
1770      DATA 5,75,76,77,78,75
1775      DATA 5,79,80,81,82,83
1780      DATA 3,83,84,79
1790      DATA 5,85,86,87,88,89
1792      DATA 3,89,90,85
1795 REM ------- PHASE 4 -------
1800      DATA 5,1,2,3,4,1
1810      DATA 5,5,6,7,8,5
1820      DATA 2,6,2
1830      DATA 2,5,1
1840      DATA 2,3,7
1850      DATA 2,4,8
1860      DATA 5,9,10,11,12,9
1870      DATA 5,13,14,15,16,13
1875      DATA 2,13,9
1880      DATA 2,14,10
1890      DATA 2,15,11
1900      DATA 2,16,12
1910      DATA 5,17,18,26,25,17
1920      DATA 5,19,20,27,26,19
1930      DATA 5,21,22,28,27,21
1940      DATA 5,23,24,25,28,23
1950      DATA 2,18,19
1960      DATA 2,20,21
1970      DATA 2,22,23
1980      DATA 2,24,17
1990      DATA 5,91,92,93,94,91
2000      DATA 5,95,96,97,98,95
2010      DATA 5,99,100,101,102,103
2020      DATA 3,103,104,99
2030      DATA 5,105,106,107,108,109
2040      DATA 3,109,110,105
2050 REM ----- 104 DATAZEILEN FUER LINIEN
```

Listing 5.22

6 Aufzeichnen und Drucken

6.1 Ausdrucken von Einzelphasen

Einen guten Überblick über einen Bewegungsablauf erhält man durch den Ausdruck der einzelnen Bildphasen. Die im Bildteil aufgeführten Beispiele machen dies anschaulich.

Die Steuerbefehle für die jeweiligen Druckertypen sind maschinenspezifisch, daher können an dieser Stelle keine allgemein verbindlichen Angaben erfolgen. Man ziehe daher die Handbücher der entsprechenden Druckertypen zu Rate.

Für den Ausdruck der Programmbeispiele wurden ein Sharp MZ 80 B sowie ein Genie 1 mit HRG-Pack verwendet. Für den Schneider CPC 464 stand zwar ein Hilfsprogramm zur Verfügung, um hochauflösende Grafik auszudrucken, es war jedoch zu langsam und führte zu unerträglich langen Bildausgabezeiten (4 Minuten pro Bildschirminhalt).

Im Programm selbst wird der Druckbefehl in der Bildphasenschleife untergebracht. Nach jedem Schleifendurchlauf, also nach Fertigstellung der Zeichnung, wird der Bildinhalt ausgedruckt. Im Standardprogramm kann die Zeile 473 mit dem Druckbefehl versehen werden. Der Arbeitsablauf erfolgt dann weitgehend automatisch, bis alle Bildphasen ausgedruckt sind,

ein Vorgang, den man nicht unbedingt beobachten muß. Zweckmäßigerweise verlegt man diese Arbeiten in die weniger arbeitsintensiven Tages- oder Nachtzeiten.

Die auf diese Weise entstandenen Bildausdrucke können in vielfältiger Weise verwendet werden. Sie sind weitestgehend reprofähig und können mit den bekannten fotografischen Prozessen weiterbearbeitet werden. Es besteht ferner die Möglichkeit, die entstandenen Bildphasen als Zeichentrickvorlagen zu verwenden und einzelbildweise zu filmen. Hierdurch können Ringphasen oder andere Bildsequenzen auf leichte Weise angefertigt werden. Um eine entsprechende Passergenauigkeit von Phase zu Phase zu erzielen, druckt man in den Bildecken Passerpunkte mit ein. Diese Passerpunkte werden beim Auflegen der Bildphasen unter der Kamera mit entsprechenden Markierungen in Deckung gebracht. Hierdurch wird gewährleistet, daß der Konstruktionsmittelpunkt der einzelnen Bildphasen immer an der gleichen Stelle verbleibt.

Für filmische Layouts bietet sich eine weitere interessante Variante der Phasenverwendung an. Bei reinen Drahtmodell-Animationen sind die Objekte durch den Ausdruck der normalerweise nicht sichtbaren Linien in ihrer Wirkung teilweise eingeschränkt. Flächige oder farbliche Differenzierungen der Objekte entfallen ganz.

Es können jedoch im handwerklichen Verfahren die fehlenden Kolorierungen nachträglich in den Phasensatz eingebracht werden. Hierfür bieten sich Farbstifte wegen der feineren Abstufungsmöglichkeiten oder Filzstifte für plakative Wirkungen an. Die kolorierten Drahtmodellphasen ergeben ein bemerkenswert räumlich wirkendes Layout, wobei auch der Lichteinfall Berücksichtigung finden kann. Diese einfache Technik ist besonders für Präsentationen geeignet, weil die entstehenden Kosten gering gehalten werden können, andererseits jedoch die endgültige Bildwirkung fast erreicht wird. Diese Arbeitsweise entspricht der bekannten Zeichentrickfilm-Produktionstechnik.

Die Papierstruktur tritt jedoch bei dieser Animationsform deutlich hervor, wie sich auch das Flackern der Farbflächen nicht vermeiden läßt. Diese Bildunruhe ist im Layout vertretbar, für endgültige Fassungen von Animationsvorgängen ist diese Methode aber nicht zu empfehlen.

6.2 Filmaufzeichnung von Einzelphasen

Die langsame Bildausgabe der Einzelphasen kann durch filmische Einzelbildaufzeichnung korrigiert werden. Bei der Vorführung des fertigen Films erscheinen die Animationsvorgänge gerafft und somit in Echtzeit. Die Nachteile der Papieranimation, wie sie oben beschrieben wurden, entfallen hier natürlich ganz. Die Bildobjekte werden direkt vom Bildschirm gefilmt. Bei Farbwiedergabe tritt allerdings die Lochmaske der Farbbildröhre störend in Erscheinung, falls die Aufnahmebedingungen extreme Bildschärfe bewirkten. Dieser Nachteil muß hingenommen oder über andere Aufnahmeverfahren eliminiert werden.

Durch die Aufteilung eines Farbbildpunktes in ein sogenanntes Farbtripel lassen sich keine kongruenten Abbildungen verschiedenfarbiger Punkte an einer Stelle des Bildschirms erzielen. Beim Wechsel der Farben verschiebt sich nämlich der Punkt um einen kleinen Betrag von seiner ursprünglichen Position gemäß seiner Lage im Farbtripel.

Analog entsteht beim Farbwechsel von Linien eine Verschiebung der Linie aus ihrer vorherigen Position. Der Gesamteindruck solcher Bilder wird als weich, also nicht konturenscharf empfunden.

Diesen Nachteil vermeidet das additive Farbmischverfahren. Verwendet man einen Schwarzweißbildschirm, werden absolut punktförmige Abbildungen der Bildpixel erzielt. Diese Abbildung verbleibt auch nach wiederholtem Ein- oder Ausschalten des Pixels absolut kongruent zur innegehabten Position. Durch

Zwischenschaltung von farbigen Filtern zwischen Bildschirm und Kamera kann jeder Bildpunkt mit einem Farbanteil versehen werden. Durch dreimaliges Belichten und jeweiliges Auswechseln der Farbfilter können aus den drei Grundfarben Rot, Grün, Blau beliebige Farbnuancen dargestellt werden.

Der Aufwand einer Dreifachbelichtung ist für den Amateurbereich kaum zu vertreten, zumal für solche Aufgaben Spezialkameras herangezogen werden müssen, bei denen Bildtransport und Belichtung nicht zwangsläufig synchronisiert sind. Ein Einzelbild kann also auf der Bildbühne festgehalten und beliebig oft nachbelichtet werden, ohne daß ein Filmvorschub erfolgt.

Der Farbbildschirm ist – fotografisch betrachtet – ein Selbstleuchter mit Tageslichtcharakteristik. Bei der Auswahl des Filmmaterials ist darauf zu achten, daß entweder auf Tageslicht sensibilisiertes Filmmaterial verwendet wird oder ein Kunstlichtmaterial – entsprechend gefiltert – belichtet wird. Das Kodak-Filter Wratten 85 B erfüllt diese Bedingungen. Eine farbgetreue Wiedergabe wird nur durch diese Maßnahmen erreicht.

Nach dem Erscheinen des Bildmotivs wird ein Einzelbild an der Kamera ausgelöst. Für die Zeit der Belichtung muß das Bildmotiv auf dem Bildschirm festgehalten werden. Programmtechnisch wird das durch eine Warteschleife in Zeile 472 des Standardprogramms verwirklicht. Nach der filmischen Aufzeichnung wird das Bild gelöscht und das nächstfolgende Bild aufgebaut. Die Auslösevorgänge der Kamera können von Hand oder automatisch erfolgen. Für eine Auslösung durch Programmbefehle muß die Kamera allerdings elektrisch steuerbar sein, eine Einzelbildauslösung muß mittels eines elektrischen Schalters durchführbar sein. Ist diese Tatsache gegeben, kann ein Programmbefehl, wie etwa OUT, anstelle des Druckbefehls einen Schaltvorgang an einem Ausgabeport bewirken. Eine Transistorschaltstufe und ein kleines Relais sorgen dann für die Auslösung der Kamera.

Eine solche automatisierte Aufzeichnung sollte bei intensiver

Beschäftigung mit filmischer Animation unbedingt erstellt werden, weil die Aufzeichnung unter Umständen mehrere Stunden dauern kann und sie zudem den Bedienenden zwingend an die Geräte fesselt, weil keine Einzelphase des Animationsvorgangs verlorengehen darf. Eine Unterbrechung der Aufzeichnung bedingt aber eine komplette Neuaufnahme des Animationsvorgangs.

6.3 Super-8-Aufzeichnungen

Ein ausgesprochen kostengünstiges Aufzeichnungsmedium ist der Super-8-Film. Die Helligkeit eines Farbmonitors liegt gerade noch an der Grenze des Belichtungsspielraumes, so daß ausreichende Belichtung gewährleistet ist.

In Einzelbildschaltung haben die Super-8-Kameras je nach Modell eine Belichtungszeit von 1/30 s bis zu 1/60 s. Bei Verwendung von 19°-DIN-Aufnahmematerial liegt die zugehörige Blendenöffnung etwa bei Blende 1:1,4 oder 1:2. Bei Verwendung von Umkehrfilm sollte die korrekte Belichtung durch eine Messung ermittelt werden, da die Belichtung auf eine halbe Blende genau vorgenommen werden muß. Eine Belichtungsautomatik vereinfacht die Aufnahmebedingungen erheblich.

Der Bildstand ist auch bei Einzelbildschaltung als gut zu bezeichnen, wie entsprechende Untersuchungen bewiesen haben.

Die Ermittlung des Bildausschnittes ist bei einer Reflexkamera unproblematisch, da das Bild im Sucher weitgehend mit dem Bildausschnitt übereinstimmt. Ein Durchblicksucher neben der optischen Achse des Kameraobjektivs wird im Nahbereich fast immer zu ungenauen Bildausschnitten führen und unter Umständen auch noch die Abdeckmaske des Monitors mit abbilden, von asymmetrischen Bildinhalten ganz abgesehen.

Farbbildröhren haben eine mehr oder weniger gewölbte Oberfläche. Infolge des normalen Betrachtungsabstandes aus einiger Entfernung tritt dieser Umstand kaum störend in Erscheinung. Versucht man hingegen aus kürzerem Abstand den Bildschirm zu fotografieren, treten die Wölbungen verstärkt im Bild auf, und alle Linien scheinen gebogen zu sein. Abhilfe schafft hier die Wiederherstellung der normalen Betrachtungsbedingungen, fotografisch also eine längere Brennweite (Tele) und damit größerer Abstand von Kamera zu Bildschirm. Jetzt entfallen die Kissenverzeichnungen, und die Linien verlaufen wieder gerade.

Bei allen Aufnahmen vom Bildschirm ist ein stabiles Stativ Voraussetzung. Drahtauslöser oder Tasten zum Auslösen der Kamera können gegebenenfalls auch die Kamera aus ihrer Grundposition bringen. Je fester das Stativ aufgebaut ist, um so besser ist die Qualität der Bildsequenzen. Ferner ist auf die Abdunklung des Aufnahmeraumes zu achten. In den Wölbungen der Bildröhre treten sonst unangenehme Reflexe von hellen Objekten des Aufnahmeraumes auf. Ein Orientierungslicht zur Durchführung der Aufnahme sollte gedämpft und hinter dem Monitor angeordnet sein.

Literaturverzeichnis

MÜLLER, ROBERT: *Mathematik verständlich.* Niedernhausen/Taunus: Falken-Verlag GmbH.

MYERS, ROY E: *Mikrocomputer Grafik.* Pandasoft Addison-Wesley Publishing Company.

SCHNEIDER, HANS LORENZ: *Arbeiten mit dem Schneider CPC.* Düsseldorf: Sybex-Verlag GmbH.

WALKOWIAK: *CPC 464 Graphik & SOUND.* Düsseldorf: Data Becker GmbH.

WEBER, MARKUS: *3D-Grafik in Theorie und Praxis.* Vaterstetten b. München: IWT-Verlag GmbH.

Weitere zu dieser Thematik im Vogel-Buchverlag erschienene Titel:

BAUMANN, RÜDEGER: *Grafik mit dem Home-Computer. Grundlagen und Anwendungen programmiert in BASIC.*
ISBN 3-8023-0769-0

DIEMER, WOLFGANG R: *CAD kurz und bündig. Zeichnen und Konstruieren mit dem PC.*
ISBN 3-8023-0892-1

POMASKA, GÜNTER: *Computergrafik. 2D- und 3D-Programmierung.*
ISBN 3-8023-0759-3

POMASKA, GÜNTER/AUZINGER, THOMAS: *Werkzeuge der Computergrafik. Integration der Systemkomponenten für Personalcomputer.*
ISBN 3-8023-0843-3

WAGENKNECHT, FRED: *Start in die Computergrafik. Grundlagen und Programme für TRS-80, Video Genie und Colour Genie.*
ISBN 3-8023-0771-2

Stichwortverzeichnis

Animation 66, 97, 101
Ausdrucken von Phasen 173
Bewegungsänderungen 68
Bogenmaß 12
Computeranimation 101
Doppelrotation 112, 119
Drahtmodelle 33
Eckpunktarray 28, 61
Entwurf 21, 26, 32
Filmaufzeichnung 175, 177
Funktionsflächen 50, 120
Gradmaß 12
Guillochenmuster 116, 118
Iterative Schleifen 163
Konstruktionsmittelpunkt 25
Konstruktionszeichnung 21
Koordinatennullpunkt 14
Kugeldarstellung 81
Kugelgrafik 86
Kugelprogramm 82
Kugelschrift 90
Laufbewegung 160, 164
LINE-Befehl 17
Linienarray 63
Objektdefinition 30
Objektgröße 36
Programmanpassung 12
Programmstruktur 66
Schneider-BASIC-Befehle 15
Shapeoperationen 43
Shapes 39
Super-8-Aufzeichnungen 177
2D-Rotationen 112
2D-Shapes 112
3D-Grafik 58
3D-Rotationskörper 73
3D-Standardprogramm 71

PC: Damit Sie einfach mehr von Ihrem Personal-Computer haben!

PC Personal Computer + PC Soft Anwender-Programme, gibt Ihnen alle Informationen, die Sie brauchen, um Ihren PC bestmöglich zu nutzen.

PC bringt für Sie: Kaufberatung, Marktübersichten, Tests, Beratung bei der Einsatzplanung, Anwendungsbeispiele, Problemlösungen, Erfahrungsberichte aus der Praxis.

PC gibt es für 7,– DM monatlich bei Ihrem Zeitschriftenhändler. Im Abonnement für 5,50 DM pro Heft. Oder direkt beim PC-Leser-Service, Vogel-Verlag, Postfach 67 40, 8700 Würzburg 1.